

车辆战术储备器材包装单元装载优化研究

魏大帅¹, 张春和¹, 张大鹏¹, 王轩²

(1.陆军军事交通学院, 天津 300161; 2.陆军步兵学院石家庄校区, 石家庄 050085)

摘要: **目的** 通过对车辆战术储备器材包装单元化装载问题展开研究, 为提高部队车辆战术储备器材包装单元装载能力提供技术与方法依据。**方法** 分析装载优化模型的空间、质量、装载平衡和摆放稳定性等主要约束以及约束的处理方法, 运用启发式算法对模型求解流程进行合理设计, 并提出启发式算法和遗传算法相结合的混合遗传算法, 以托盘装载为例说明具体装载过程。**结果** 算例结果表明, 托盘空间利用率达到了 98.3%以上, 装载单元集装稳定性高。**结论** 该算法可减少装载容器数量, 提升容器装载能力, 优化器材包装单元装载, 对提高车辆战术储备器材快速保障能力具有重要意义。

关键词: 车辆战术储备器材; 启发式混合遗传算法; 装载优化

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0007-05

Loading Optimization of Packaging Unit of Vehicle Tactical Reserve Equipment

WEI Da-shuai¹, ZHANG Chun-he¹, ZHANG Da-peng¹, WANG Xuan²

(1.Army Military Transportation University, Tianjin 300161, China;

2.Shijiazhuang Campus, Army Infantry Academy, Shijiazhuang 050085, China)

ABSTRACT: The work aims to research the loading problem of packaging unit of vehicle tactical reserve equipment, and provide technical and method basis for improving the loading capacity of packaging unit of vehicle tactical reserve equipment of the army. The main constraints such as space, quality, loading balance and placement stability of the loading optimization model and the handling methods of constraints were analyzed. The heuristic algorithm was used to design the model solving process reasonably, and a hybrid genetic algorithm combined with heuristic algorithm and genetic algorithm was proposed. Taking the pallet loading as an example, the specific loading process was illustrated. The example results showed that, the pallet space utilization rate was more than 98.3%, and the loading unit containers had high stability. The algorithm can reduce the number of loading containers, improve the container loading capacity, and optimize the loading of the equipment packaging unit, which is of great significance to improve the rapid support ability of vehicle tactical reserve equipment.

KEY WORDS: vehicle tactical reserve equipment; heuristic hybrid genetic algorithm; loading optimization

车辆战术储备器材包装单元化, 就是把一定数量的战术储备器材经初级包装后, 按一定标准集成单元, 并在整个器材保障过程中始终保持其单元形态^[1]。在对器材进行了单元化组合包装后, 对包装单元进行集装装载, 目标是在保证满足箱体承载质量限制、平稳性和装载效率等约束前提下, 提供合理的组配方案, 该问题属于 NP 完全问题^[2], 即多项式复

杂程度的非确定性问题, 在有限的时间范围内找不到其最优解。启发式算法解决该类复杂的优化问题时, 能够快速获得近似的最优解, 因此该方法被人们广泛应用。在军事物流配送中, 找到一个高效快速的算法来优化器材包装单元装载, 减少装载容器数量, 提升容器装载能力, 对提高车辆战术储备器材快速保障能力具有重要意义^[3]。

收稿日期: 2017-09-18

作者简介: 魏大帅 (1986—), 男, 陆军军事交通学院讲师, 主要研究方向为车辆器材的防护与包装。

1 问题描述

已知一长方体容器, 长度为 L , 宽度为 b , 高度为 H , 承载质量为 Q ^[3]。现有 n 种不同尺寸的长方体器材包装单元 $a_1, a_2 \dots a_n$, 第 s 种器材有 m_s 个, 三维尺寸为 $l_s \times b_s \times h_s$, 质量为 q_s ($s=1, 2 \dots n$), 不同的包装单元尺寸、质量各不相同。优化的最终目标是求得在保证全部器材包装单元都被装载完毕, 满足所有装载约束, 并且容器的使用量最少的条件下, 每个容器的装载布局。限制条件^[4]为: 包装单元和容器均是规则的长方体容器, 包装单元尺寸小于容器且不同; 包装单元质量均匀分布; 包装单元各个面优先级别相同; 包装单元垂直或平行于容器的某一边。

2 主要考虑约束及装载策略

假定需要 M 个长方体容器 $C_1, C_2 \dots C_M$, 容器宽度为 b , 长度为 L , 高度为 H , 质量为 Q 。各容器内器材单元数量为 $N_1, N_2 \dots N_M$, 包装单元质量为 q_{ij} , 三维尺寸为 $l_{ij} \times b_{ij} \times h_{ij}$, 重心坐标为 (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) , (X_i, Y_i, Z_i) 为容器装载后的重心坐标, $i=1, 2 \dots M, j=1, 2 \dots N_i$ 。 $(c, d, 0)$ 为容器底面纵横中心线交叉点坐标, s_1 (≥ 0) 为横向容许偏移量, s_2 (≥ 0) 为纵向容许偏移量, 全部器材的总重心高不超过 s_3 (≥ 0)。各约束为以下几个方面。

2.1 空间约束

空间约束指的是任何器材包装单元在容器长、宽、高限制范围内。要满足:

$$\max\{x_{ij} + \frac{l_{ij}}{2}\} \leq L \quad (1)$$

$$\min\{x_{ij} - \frac{l_{ij}}{2}\} \geq 0 \quad (2)$$

$$\max\{y_{ij} + \frac{b_{ij}}{2}\} \leq b \quad (3)$$

$$\min\{y_{ij} - \frac{b_{ij}}{2}\} \geq 0 \quad (4)$$

$$\max\{z_{ij} + \frac{h_{ij}}{2}\} \leq H \quad (5)$$

$$\min\{z_{ij} - \frac{h_{ij}}{2}\} \geq 0 \quad (6)$$

式 (1—2) 为长度约束, 式 (3—4) 为宽度约束, 式 (5—6) 为高度约束。

2.2 质量约束

质量约束指的是包装单元的整体总量不超过自身的限制范围^[5]。要满足:

$$\sum_{j=1}^{N_i} q_{ij} \leq Q \quad (7)$$

2.3 装载平衡

装载平衡是指包装单元装载后, 其重心投影应在容器底面纵横中心线的交叉点上, 特殊情况下必须位移时, 也应该在规定的范围内, 使运输安全性得到保障, 应满足:

$$|X_i - c| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{N_i} (q_{ij} x_{ij})}{\sum_{j=1}^{N_i} q_{ij}} - c \right| \leq s_1 \quad (8)$$

$$|Y_i - d| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{N_i} (q_{ij} y_{ij})}{\sum_{j=1}^{N_i} q_{ij}} - d \right| \leq s_2 \quad (9)$$

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} (q_{ij} z_{ij})}{\sum_{j=1}^{N_i} q_{ij}} \leq s_3 \quad (10)$$

式 (8) 为重心投影纵向约束, 式 (9) 为横向约束, 式 (10) 为高度约束。

利用重心高度 Z_i 和平面相对偏移量 λ 来评价装载平衡性, 数值越小表示平衡性越好, λ 定义为:

$$\lambda = \left(\left| \frac{X_i - c}{L} \right| + \left| \frac{Y_i - d}{b} \right| \right) \times 100\% \quad (11)$$

2.4 货物摆放稳定性

货物摆放稳定性定义为:

$$\varphi = 1 - \frac{\alpha}{\beta} \quad (12)$$

式中: α 为纵向重心未投影在支撑面的包装单元数量; β 为容器内包装单元总数。在启发式算法中, 已经考虑了空间约束和质量约束, 可用遗传算法适应度函数来处理装载平衡约束, 对于货物摆放稳定性约束, 启发式算法不仅满足了上层物品不能超出下层物资边界的要求, 而且使物品摆放的稳定性得到保证。

3 启发式算法

前文已经提到装载问题属于 NP 完全问题, 解决该问题的通常优化算法是启发式算法^[6—7], 因此通过采用启发式算法来生成包装单元装载模式。当包装单元逐步装入容器中时, 体积不断增加, 质量也随之不断增大, 这时候需要重点考虑包装单元装载平衡性。为了降低物品整体中心高度, 并使物品均匀分布于装载容器中, 对器材包装单元按照从底到上的方法^[8], 按照一定的规则进行装载。具体过程为: 把大小相同的包装单元组成模块, 模块可按一定的规则组成新的装载平面, 从容器的底部开始装起, 尽量使每一层表面是一个平面, 查看是否有可用的平面与没有装入的器材, 如果没有则结束装载, 反之继续下一步装载; 选择一个装载平面, 按照摆放方向约束比较所有摆放结果, 以可装入数量最多的为最优结果; 新的装载平面生成后, 合并、更新、筛选; 最后, 重复上述步骤, 确定最优装载方案。启发式算法流程见图 1。

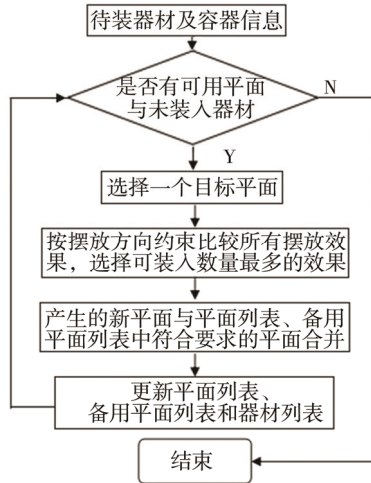


图 1 启发式算法流程

Fig.1 Flow chart of heuristic algorithm

4 启发式混合遗传算法

4.1 算法总体结构

由于启发式方法在寻优方面的能力较弱，需要配合其他寻优算法才能取得较好的效果。作为一种随机化搜索算法，遗传算法具备很强的全局搜索能力，主要通过生物遗传以及模拟其进化的机理，进化搜索得到问题的最优解^[9-10]。算法对所需问题的各种可能解进行编码设计，然后对染色体编码进行译码设计、选择、变异和交叉等一系列的操作，最终得到最优解^[11]。然而，遗传算法易出现“早熟”导致局部搜索能力不足，能迅速达到最优解的 90%，但还需很长时间才能找到最优解，因此需要对其进行改进。文中通过综合考虑空间、质量、装载平衡和摆放稳定性等实际约束，并提出启发式算法和遗传算法相结合的混合遗传算法，解决器材包装单元装载优化问题。算法的总体框架见图 2。

4.2 计算最少需要容器数

最少需要容器数是仅考虑体积和质量的情况下需要的容器数，是文中启发式混合遗传算法的一个初始条件。设包装单元的总质量为 Q_T ，总体积为 V_T ；容器长、宽、高分别为 L, b, H ，额定承载质量为 Q_A ，最少需要的容器数量为：

$$S = \max \left\{ \left\lceil \frac{V_T}{LbH} \right\rceil, \left\lceil \frac{Q_T}{Q_A} \right\rceil \right\} \quad (13)$$

若仍有待装器材，则 $S=S+1$ ，继续计算，直至找到最优装载方案。

4.3 编码设计

编码就是将问题可行解空间转化为遗传算法搜索空间^[12]。文中将装载器材包装单元的编号按顺序排放成一个染色体编码串，即 $p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ ，其中 n 为器材单元类型， p_i 为整数。

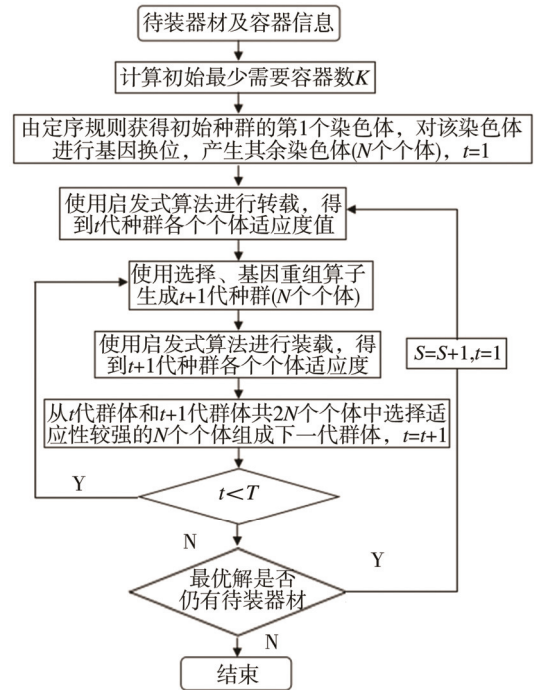


图 2 启发式混合遗传算法流程

Fig.2 Flow chart of heuristic hybrid genetic algorithm

4.4 译码设计

译码就是遗传算法解空间向问题空间的转化。文中将选定器材包装单元放置于容器空间的一个角，装入一个包装单元后，容器被分割成 3 个空间，分别为向上空间、边空间和向前空间，依次对上述 3 个空间重复上述分解过程，按优先级先后顺序向上、向旁边、向前进行装载，依次类推，继续填下一层，直至包装单元全部装入。

4.5 适应度函数

通常以适应度函数大小评价遗传算法的解，能否将所有包装单元都装入容器中决定是否可行解，解的好坏用中心函数值来衡量，其函数为：

$$f = \sum_{j=1}^K \sqrt{(X_j - c)^2 + (Y_j - d)^2 + Z_j^2} \quad (14)$$

约束条件为：

$$X_j = \sum_{i=1}^N (q_i x_i \mu_{ij}) / \sum_{i=1}^N (q_i \mu_{ij}) \quad (15)$$

$$Y_j = \sum_{i=1}^N (q_i y_i \mu_{ij}) / \sum_{i=1}^N (q_i \mu_{ij}) \quad (16)$$

$$Z_j = \sum_{i=1}^N (q_i z_i \mu_{ij}) / \sum_{i=1}^N (q_i \mu_{ij}) \quad (17)$$

式中： N 为器材单元总数， $N = \sum_{s=1}^n Q_s$ 。式 (15—

17) 为器材单元装载重心函数。 (x_i, y_i, z_i) 为器材单元 i 的重心坐标； (X_j, Y_j, Z_j) 为容器装载后的重心坐标； $(c, d, 0)$ 为底部纵横中心线交叉处坐标； μ_{ij} 为 0-1 变量，若器材单元 i 装入容器 j 中， $\mu_{ij}=1$ ，否则为 0， $j=1,$

2... K ; q_i 为第 i 个器材包装单元的质量。

4.6 选择算子、变异算子和交叉算子

这里采取的最佳保存策略是选择算子一部分,它既能保证当前群体最优个体传给下一代最差个体概率较大,又能保证最优个体不会被交叉、变异等遗传操作破坏^[13]。变异是指编码序列中某些基因的随机选择,以一定的概率替代其他等位基因,为新个体的形成提供机会^[14]。这里通过变化器材包装单元在容器中的位置,使变异过程接近于个体与本身的一种交叉。交叉是遗传算法最主要的遗传操作,它是指从一个群体中选择一个更大概率的 2 个个体,交换部分基因并形成 2 个新个体^[15]。

4.7 终止准则

若 $t < T$, 则转到步骤 $t=t+1$, 若 $t > T$, 达到最大的迭代次数 T , 运算停止, 得到最优解。

5 实例分析

某部队运输车数量为 120 辆, 一辆车需要 10 个基数的器材保障, 总计需要 12 个基数的器材。战术器材以托盘组装运输到战术仓库。通过采用 Matlab 编程语言设计实现“单元化配载系统”, 输入托盘和器材的基本信息, 程序可生成三维效果图。各托盘效果图可以任意放大、缩小、自由旋转, 并且对不同包装单元进行了标注, 方便观察装载操作。第 10 只托盘车的不同层面的装载方案效果见图 3。

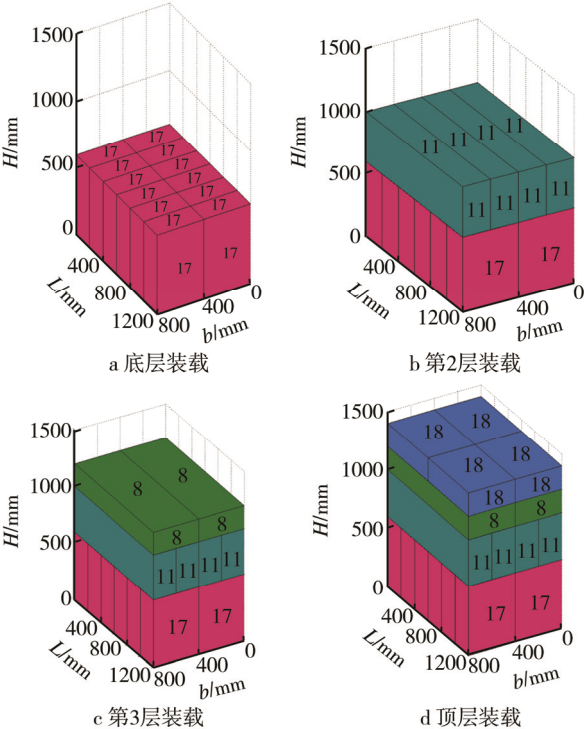


图 3 装载方案
Fig.3 Loading scheme

程序自动生成装载方案 Excel 文件, 该文件包含两类表格, 即各个托盘的器材装载明细和该次装载的情况统计, 见表 1—2。表 1 中 X 表示包装单元在横坐标上的投影坐标值, Y 表示包装单元在纵坐标上的投影坐标值, Z 表示包装单元在垂直高度上的投影坐标值, 单位质量表示单位体积器材包装的质量。装载人员可将其与装有托盘、器材信息的 Excel 文件放到一起, 作为装载过程的参考以及工作存档。

表 1 装载明细
Tab.1 Loading details

货物 编号	X	Y	Z	长/mm	宽/mm	高/mm	单位质 量/kg
单元17	0	0	0	600	200	400	25
单元17	0	200	0	600	200	400	25
单元17	0	400	0	600	200	400	25
单元17	0	600	0	600	200	400	25
单元17	0	800	0	600	200	400	25
单元17	0	1000	0	600	200	400	25
单元2	0	0	400	300	1200	600	10
单元2	300	0	400	300	1200	600	10
单元2	0	0	1000	600	1200	600	10
单元15	600	0	0	200	400	600	10
单元15	600	400	0	200	400	600	10
单元15	600	800	0	200	400	600	10
单元15	600	0	600	200	400	600	10
单元15	600	400	600	200	400	600	10
单元15	600	800	600	200	400	600	10
单元15	0	0	1300	600	400	200	10
单元15	0	400	1300	600	400	200	10
单元15	0	800	1300	600	400	200	10

表 2 装载情况统计
Tab.2 Loading statistics

单个 编 号	单个 托盘器 材总体 积/ m^3	单个 托盘器 材总质 量/t	重心 横向 偏移 量/cm	重心 纵向 偏移 量/cm	单个 托盘 空间 利用率/%	单个 托盘 承载 利用率/%	平面 相对 偏移 量/%	重心 高度/ cm
1	1416	0.14	225.9	0	98.3	13.5	28.2	698.1
2	1416	0.14	225.9	0	98.3	13.5	28.2	698.1
3	1416	0.45	43.8	0	98.3	44.5	5.5	634.3
4	1416	0.45	43.8	0	98.3	44.5	5.5	634.3
5	1440	0.22	63.6	0	100	22	8	490.9
6	1416	0.19	137.8	0	98.3	18.5	17.2	712.2
7	1416	0.19	137.8	0	98.3	18.5	17.2	712.2
8	1416	0.19	137.8	0	98.3	18.5	17.2	712.2

从统计结果可以看出,在托盘空间利用率方面,利用率均达到了98.3%以上,符合相关标准的要求,没有造成大面积的空间浪费;在托盘承载利用率方面,普遍低于25%,由于大部分器材是质量较轻的小件,导致托盘承载利用率低;包装单元装载平衡性较高。

6 结语

在遗传算法的基础上结合传统启发式算法,设计了一个混合遗传算法,将启发式混合遗传算法用于解决车辆战术器材包装单元装载优化问题,通过实例验证和对比分析证明了该算法的可行性和优越性,在集装配载空间利用率、集装稳定性方面取得了较好的效果。

参考文献:

- [1] 王凤忠,文正中. 车辆战术储备器材组合单元的优化及设计[J]. 物流技术, 2015, 34(11): 209—212.
WANG Feng-zhong, WEN Zheng-zhong. Optimization and Design of Combination Units of Vehicle Tactical Reserve Equipment[J]. Logistics Technology, 2015, 34(11): 209—212.
- [2] 陈端兵. 一种求解集装箱装载问题的启发式算法[J]. 计算机科学, 2008, 35(8): 145—148.
CHEN Duan-bing. A Heuristic Algorithm for Solving the Container Loading Problem[J]. Computer Science, 2008, 35(8): 145—148.
- [3] 张春和. 军用车辆器材防护包装现状及发展对策[J]. 包装工程, 2009, 30(9): 31—35.
ZHANG Chun-he. Present Situation and Development Countermeasures of Military Vehicle Equipments[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(9): 31—35.
- [4] 邓玉锋,陈进. 金属板材三维装箱的启发式算法[J]. 计算机系统应用, 2015, 24(3): 231—234.
DENG Yu-feng, CHEN Jin. Heuristic Algorithm for 3D Packing Problem of the Sheet Metal[J]. Application of Computer System, 2015, 24(3): 231—234.
- [5] 王存存. 集装箱装载价值最优的启发式算法[J]. 上海电机学院学报, 2008, 11(4): 268—270.
WANG Cun-cun. Heuristic Algorithm Optimal Value of Container Loading[J]. Journal of Shanghai Dianji University, 2008, 11(4): 268—270.
- [6] 张德富,魏丽军. 三维装箱问题的组合启发式算法[J]. 软件学报, 2007, 18(9): 2083—2089.
ZHANG De-fu, WEI Li-jun. A Combinatorial Heuristic Algorithm for the Three-Dimensional Packing Problem[J]. Journal of Software, 2007, 18(9): 2083—2089.
- [7] 徐俊杰. 元启发式优化算法: 理论阐释与应用[M]. 北京: 中国科学技术大学出版社, 2015.
XU Jun-jie. Meta Heuristic Optimization Algorithm: Theoretical Interpretation and Application[M]. Beijing: University of Science & Technology China Press, 2015.
- [8] 赵秋红,肖依永. 基于单点搜索的元启发式算法[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
ZHAO Qiu-hong, XIAO Yi-yong. Heuristic Algorithm Based on Single Point Search[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [9] 吴值民. 退火单亲遗传算法求解旅行商问题及MATLAB实现[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2007, 8(1): 44—48.
WU Zhi-min. Solution to Traveling Salesman Problems with Simulated Annealing Partheno Genetic Algorithm in MATLAB[J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2007, 8(1): 44—48.
- [10] 江宝钊,熊伟清. 一种求解三维集装箱装箱问题的混合遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(26): 200—222.
JIANG Bao-chuan, XIONG Wei-qing. Hybrid Aenetic Algorithm Solving for Three-dimensional Container Loading Problem[J]. Application of Computer System, 2007, 43(26): 200—222.
- [11] 许光泞,俞金寿. 改进遗传算法求解三维集装箱装载问题[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2007, 33(3): 425—428.
XU Guang-ning, YU Jin-shou. An Improved Genetic Algorithm for Three-dimensional Container Loading Problem[J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2007, 33(3): 425—428.
- [12] 卜雷,俞金寿. 基于遗传算法的集装箱单箱三维装载优化问题[J]. 中国铁道科学, 2004, 25(4): 108—111.
BU Lei, YU Jin-shou. Research on Single Container Three-dimensional Container Loading Optimization Problem Based on Genetic Algorithm[J]. China Railway Science, 2004, 25(4): 108—111.
- [13] 雷英杰,张善文. Matlab遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014.
LEI Ying-jie, ZHANG Shan-wen. Matlab Genetic Algorithm Toolbox and Application[M]. Xi'an: Xi'an Electronic and Science University Press, 2014.
- [14] 冯宪彬,丁蕊. 改进型遗传算法及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2016.
FENG Xian-bin, DING Rui. Improved Genetic Algorithm and Its Application[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2016.
- [15] 包子阳. 基于Matlab的遗传算法及其在稀布阵列天线中的应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
BAO Zi-Yang. Genetic Algorithm Based on Matlab and Its Application in Thinned Array Antennas[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2017.