文章编号：1673–1522（2011）05-0558–03

BFOA 在军械装备维修任务调度中的应用

姚双印[1]，韩庆田[2]

（1. 海军装备部军械保障部，北京 100841；2. 海军航空工程学院控制工程系，山东 烟台 264001）

摘　要：分析了军械装备维修任务调度问题的特点，给出了细菌觅食优化算法（Bacteria Foraging Optimization Algorithm）的操作流程，针对军械装备维修任务调度问题建立了数学建模，设计了编码策略并应用 Matlab 工具软件进行了仿真计算。

关键词：装备维修；任务调度；细菌觅食优化算法

中图分类号：E92　　**文献标志码：**A

0　引言

军械装备修理厂承担着部队在役装备的维修任务，其工作效率和维修质量在很大程度上体现着部队的综合保障能力，对部队战训任务的完成有着重大影响。

长期以来，修理厂的维修管理工作一直沿用传统的经验维修为指导的粗放型管理，这种方式没有形成闭环管理机制，对整个维修保障工作的进程无法实施有效的控制，操作者凭经验维修，工艺质量无法保证，军械装备滞厂时间较长，效率较低。[1]

随着部队装备不断更新及战训任务逐步加重，修理深度不断加大，工作内容日趋复杂，这种传统模式已严重制约了部队综合保障能力的提高。如何利用先进的调度算法和计算机技术，建立一套完整实用的装备维修任务优化调度系统，将维修任务各个工序进行优化，辅助管理者合理分配设备资源与人力资源，科学管理和指导维修工作，提高装备修理工作效率和质量，成为一个重要的研究课题。[2]

由于调度问题的复杂性和现实世界的多样性，任何一个调度系统都很难解决所有加工车间的调度问题。因此，广大研究工作者不断探索各种调度方法和结构以解决实际的车间任务调度问题，如基于规则的方法、专家系统方法、多次扫描的动态方法等，且不断提出新的调度控制结构，如多级/多层控制结构、多黑板结构、分布式调度结构等，这些方法和结构的出现为解决不同调度问题提供了有力工具。

军械装备维修工作涉及多个车间、多个工种、多个工序。智能优化算法是指多个简单个体组成的群体，具有通过相互之间的简单协作完成问题求解的能力。王浩等[3]采用蜂群算法、杨晶等[4]用遗传算法进行了维修任务的优化调度和仿真计算，王璨等[5]应用粒子群算法研究了航空军械保障优化问题，但针对军械装备维修任务调度研究的文献较少，本文研究应用细菌觅食优化算法对军械装备修理工作进行有效的组织、精确高效调度，实现各类保障资源的优化组合与合理分配，降低保障维修费用。

1　军械装备维修任务调度问题

军械装备维修任务调度问题可以转化为车间任务调度问题(Job-Shop Scheduling Problem，JSP)，该问题是制造执行系统(Manufacturing Execution System，MES)实现管理技术、运筹技术、优化技术、自动化技术和计算机技术发展的核心，其主要任务是如何优化车间的任务调度过程。[6]虽然对于车间调度问题的研究已经有几十年的历史，提出了许多最优化求解方法，从理论研究的角度而言，这方面的经典调度理论已经较为成熟，但是实际上，由于真实车间里充斥了大量的不确定信息(如工件的优先级差异、设备的突然故障、临时任务的增加等)，严重影响了调度结果的准确性，使得车间调度问题成为最为困难的多目标多优先级约束组合决策问题，仅仅依靠经典调度理论中基于解析优化的技术

收稿日期：2011-07-04
作者简介：姚双印（1963–），男，高工，大学。

和方法，试图解决实际调度问题，不可避免地会遇到难以逾越的障碍。

2　细菌觅食优化算法

细菌觅食优化算法是由 Passino 于 2002 年提出的，是一种仿生随机搜索算法。[7]在 BFO 模型中，搜索过程通过营养分布函数来判断搜索算法的优劣，优化问题的解对应搜索空间中的细菌的状态，即优化函数的适应度值。

细菌觅食优化算法是一种全局随机搜索算法。该算法主要通过趋向性操作、复制操作和迁徙操作这 3 种操作迭代计算来求解问题趋向性操作。[8]

3　维修任务调度的建模与求解

3.1　约束条件

军械装备维修调度问题需要考虑 3 类约束[2]：给定工件的工序前后约束；给定机器的工序非堵塞约束；实时动态约束。

一般地，令 C_{ik} 表示工件 p_i 在机器 M_k 上的完工时间，t_{ik} 表示工件 p_i 在机器 M_k 上的维修时间。

1)给定工序的前后约束。

对于工件 p_i，如果在机器 M_j 上的维修任务先于机器 M_k 上的维修任务，则有约束：

$$c_{ik}-t_{ik}\geqslant c_{ij}。\tag{1}$$

如果在机器 M_k 上的维修任务首先出现，则有约束：

$$c_{ij}-t_{ij}\geqslant c_{ij}。\tag{2}$$

由于约束中的一个或多个都必须满足，故称其为分离性约束(Disjunctive Constrains)。定义如下的指示变量：

$$a_{ijk}=\begin{cases}1, & \text{如果工件}i\text{先于工件}j\text{来到机器}M_k\\ 0, & \text{其他}\end{cases}。\tag{3}$$

约束条件也可以写为：

$$c_{ik}-t_{ik}+M(1-a_{ijk})\geqslant c_{ij}，\tag{4}$$

式中，M 是一个很大的数。不等式(4)吸收了前后约束，如果先在机器 M_i 上进行维修，$M(1-a_{ijk})$ 的值为 0，给定的不等式正是所需。否则，$M(1-a_{ijk})$ 将会是个很大的值，不等式同样为真。

2)给定机器的非堵塞约束。

对于两个工件 p_i 和 p_j 都需要在机器 M_k 上进行维修，如果工件 p_i 先于工件 p_j 来到，则有约束：

$$c_{jk}-c_{ik}\geqslant t_{jk}。\tag{5}$$

如果工件 p_j 先来到，则：

$$c_{ik}-c_{jk}\geqslant t_{ik}。\tag{6}$$

则以上约束可以写成：

$$x_{ijk}=\begin{cases}1, & \text{如果工件}i\text{先于工件}j\text{来到机器}M_k\\ 0, & \text{其他}\end{cases}；\tag{7}$$

$$c_{jk}-c_{ik}+M(1-X_{ijk})\geqslant t_{jk}$$
$$(i,j=1,2,\cdots,n；k=1,2,\cdots,m)。\tag{8}$$

3)实时动态约束。

急件任务交货期约束：记急件的工件号为 $p_j(j<n)$，其给定的交货期分别为 T_i，则：

$$c_{p_jk}\leqslant T_j\ \ (k=1,2,\cdots,m)。\tag{9}$$

临时任务约束：车间在正常运行过程中可能会接受临时任务，此时原有的任务已经得到调度，因此，临时任务工件的开始加工时间应为当前时间，记临时任务工件号为 $p_i(1\leqslant n)$，当前时间为 T，则：

$$c_{p_lk}-t_{p_lk}\leqslant T\ \ (k=1,2,\cdots,m)。\tag{10}$$

3.2　目标函数

综上所述，以最小化最大完工时间为目标的 job-shop 数学模型可以表示为：

目标函数：

$$\min\{\max\{c_{ik}\}\}\ \ (1\leqslant k\leqslant m,1\leqslant i\leqslant n)。\tag{11}$$

3.3　编码策略

采用基于操作的编码策略，将每个可行解用 $n\times m$ 个代表操作的编号组成，是所有操作的一个排列，编码序列中的数字表示待修部件的编号。要求每个待修部件均需要按照各自预定的工序经过所有机器加工一次，各待修部件编号均出现 m 次。待修部件 i 的第 j 次出现，表示待修部件 i 的第 j 个操作或第 j 道工序($i=1,2,\cdots,n;\ j=1,2,\cdots,m$)。比如，编号为 1 的待修部件在编码序列中的第一次出现，表示 1 号待修部件的第一道维修工序开始的时刻。

为了方便描述，本文以典型的 $3/3/G/C_{\max}$ 维修调度问题为基础给出一个 BFOA 算法的应用实例。表 1 给出了该调度问题的工艺约束。表 2 给出了一个编码示例。在工艺约束下，设一个可行解[3 1 1 2 1 3 2 2 3]，编码对应的工序序列见表 3。

表 1　维修工艺约束条件

待修	1 号工序		2 号工序		3 号工序	
部件号	机器号	修理时间	机器号	修理时间	机器号	修理时间
1	2	3	3	7	1	6
2	1	6	3	9	2	8
3	3	4	1	3	2	9

表 2　维修工序编码

3	1	1	2	1	3	2	2	3

表 3　维修工序序列

3, 1, 3, 4	1, 1, 2, 3	1, 2, 3, 7	2, 1, 1, 6	1, 3, 1, 5
3, 2, 1, 3	2, 2, 3, 9	2, 2, 2, 8	3, 3, 2, 9	

表 1 中每一行都是对某一个待修部件的描述，每一列是对相对应的加工工件的各道工序的具体说明。比如，表 1 中的第一行描述的是 1 号待修部件的工艺约束，第一行第二列是对该部件进行维修时的第一道工序的描述，依次类推。而且对每一道工序再次分成两项来说明，分别是完成该道工序所需的机器编号和修理时间。以 1 号待修部件为例，它需要经过 3 道工序的维修，各道工序所需的机器编号分别为 2、3、1；相应工序的维修时间分别为 3、7、5，时间单位为 h。

可见修理部件的各道工序所需的机器编号和加工时间是已知的，目标是确定各机器上部件的维修次序，那么该调度问题的目标就是通过对各个部件的各道工序的排列，找到使得总的完工时间最短的调度。

3.4　计算结果

根据装备维修工序信息，应用 Matlab 工具软件对算法进行了 50 次运算，均收敛在 $f(T_j^*)=17$，寻优结束后，得到的最优工序序列为：

$[O_{21}O_{11}O_{12}O_{13}O_{41}O_{31}O_{22}O_{23}O_{42}O_{32}O_{33}O_{43}]$。

作业路线如表 4 所示，图 1 为对应的甘特图。

表 4　维修作业路线

待修部件	工序	所需资源					
		1	2	3	4	5	6
J_1	O_{11}		3				
	O_{12}		3				
	O_{13}		4				
J_2	O_{21}					2	
	O_{22}	4					
	O_{23}			4			
J_3	O_{31}	5					
	O_{32}				3		
	O_{33}					9	
J_4	O_{41}			7			
	O_{42}						5
	O_{43}						3

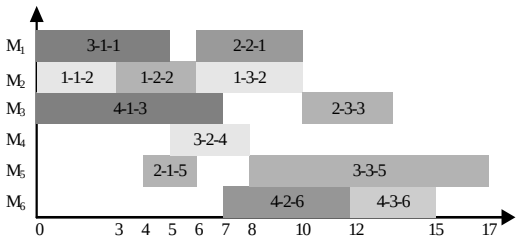


图 1　维修工序甘特图

4　结束语

将细菌觅食优化算法应用于军械装备维修任务调度可以解决修理工作中的业务松散、管理低效、需求变化响应较慢、规范标准缺乏等问题，达到管理规范化、操作流程化、效能最优化和决策科学化目标。从而加快装备的修复工作，提高装备的可利用率，减少装备因维修保养不及时所造成的损失，成为武器装备维修保养工作中一个不能回避的问题，特别是在战时快速维修军械装备，使装备尽快恢复战斗力。

参考文献：

[1] 戴汇川, 高铁路. 装备质量监督信息资源管理问题探讨[J]. 装备环境工程, 2006,3(6):82-86.

[2] 叶何文, 饶运清, 邓建春, 等. 车间作业调度问题的研究与应用[J]. 桂林航天工业高等专科学校学报, 2002,26(2):11-13.

[3] 王浩, 汤再江, 范锐. 蜂群算法在装备维修任务调度中的应用[J]. 计算机工程, 2010,36(7):242-245.

[4] 杨晶, 曾斌. 基于遗传算法的维修任务调度优化及仿真[J]. 计算机工程, 2009,35(18):243-246.

[5] 王璨, 邱长华, 杭立杰. 基于改进粒子群的航空军械保障调度优化[J]. 沈阳工业大学学报, 2010,32(2): 206-211.

[6] 张晴, 饶运清. 车间动态调度方法研究[J]. 机械制造, 2003,41(6):39-41.

[7] MISHRA S. A hybrid least square-fuzzy bacteria foraging strategy for harmonic estimation[J]. IEEE Trans. on Evolutionary Computation, 2005,9(1):61-73.

[8] 周雅兰. 细菌觅食优化算法的研究与应用[J]. 计算机工程与应用, 2010,46(20):16-18.

（下转第 575 页）