

文章编号:1000-6893(2009)05-0952-07

# 基于改进遗传算法的选择性拆卸序列规划

吴昊, 左洪福

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

## Selective-disassembly Sequence Planning Based on Improved Genetic Algorithm

Wu Hao, Zuo Hongfu

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**摘要:** 选择性拆卸序列规划(SDSP)是民用飞机维修规划的一个重要内容,也是在设计阶段对民用飞机产品维修性的评估。为了能以较高的效率求解出产品拆卸序列的方案,首先根据拆卸特点构建了产品拆卸混合图模型。该模型描述了零部件之间的连接关系和优先关系,然后通过目标零件的分析产生选择性拆卸零件集合。在此基础上建立目标函数并利用基于二叉树的遗传算法的计算速度和灵活性等特点对目标零件拆卸序列进行优化。最后,通过一个实例,验证了文中方法的可行性及优化算法的有效性。

**关键词:** 选择性拆卸序列规划; 拆卸混合图; 连接矩阵; 优先矩阵; 二叉树算法; 遗传算法

**中图分类号:** TH122      **文献标识码:** A

**Abstract:** Selective-disassembly sequence planning (SDSP) plays a significant role in the maintenance planning of an aircraft, and it is also used during the design stage for analysis of the maintainability of the aircraft. To solve the product SDSP problem efficiently, a product disassembly hybrid graph model, which describes the connection, non-connection and precedence relationships between the product parts, is established based on the characteristics of disassembly. According to an analysis of the target parts that should be disassembled, a disassembly parts set can be gained. Further, an optimization model is provided to optimize the selective-disassembly sequence. And the solution methodology based on genetic algorithm combined with binary-tree algorithm is provided. The genetic algorithm (GA) is advanced in its code, pace and robustness to tackle complex problems with a large number of parameters. And the binary-tree algorithm is used to help limit the tendency for premature convergence of the genetic algorithm and to help avoid local optima. Finally, an example is analyzed in detail, and the result shows that the model is correct and efficient.

**Key words:** selective-disassembly sequence planning; disassembly hybrid graph; connection matrix; precedence matrix; binary-tree algorithm; genetic algorithms

在民用飞机的维修过程中,产品零部件的拆卸与装配是整个飞机维修作业的重要组成部分,因为拆卸与装配所需的时间占整个维修作业相当大的比例。拆卸序列的选择影响产品的拆卸效率。拆卸序列规划问题就是在维修飞机时,探索合理可行的拆卸序列,并从中选取最优或次最优的序列,以指导飞机维修。

在解决拆卸规划问题时,大多数研究者根据 T. L. de Fazio 和 D. E. Whitney 于 1987 年提出的网络图,进而结合图论和一种彻底的搜索法来处理。在国外, P. Veerakamolmal 等<sup>[1]</sup>于 1997 年提出通过产品的模块化的特点以最小化拆装时间和

费用得出一个高效的拆装序列。2002 年他们又提出应用知识法则对一组模块的不同结构的电子设备进行拆装<sup>[2]</sup>。A. Gungor 等<sup>[3]</sup>提出一个拆装的启发式算法。G. Erdos 等<sup>[4]</sup>用启发式算法来获得产品结构内的部件来解决拆装问题。K. E. Moore 等<sup>[5]</sup>用 Petri 网对复杂或是由优先关系产品建模来进行拆装过程规划。H. E. Tseng 等<sup>[6]</sup>提出采用遗传算法对拆卸序列进行优化,以提高算法的有效性。C. Chung 等<sup>[7]</sup>为了解决选择性拆卸序列规划,2005 年利用波传导法和拆卸拓扑方法进行序列规划。次年,他们基于该方法在一个 3 层的英特网络环境上实现了产品的分离<sup>[8]</sup>。H. Srinivasan 等<sup>[9]</sup>于 1999 年提出一种以最小化拆卸费用为目标,利于波传导法进行选择拆卸序列规划。2002 年,他们在分析产品的几何特性后,进行无干涉的选择性拆卸序列规划<sup>[10]</sup>。选择

收稿日期: 2008-03-15; 修订日期: 2008-06-16

基金项目: 国家“863”计划(2006AA04Z427); 国家自然科学基金委员会与中国民用航空总局联合资助项目(60672164)

通讯作者: 吴昊 E-mail: michaelwu2010@126.com

性拆卸序列规划在产品设计中是不可缺少的一个环节,为产品的可维修性提供了直接信息。一般而言,随着产品中零件数量的增加,产品拆卸方案的求解空间也会迅速变得复杂起来,从而使得普通的方法难以对其进行有效处理。基于这种复杂性的原因,常常应用启发式算法来解决这一问题,期望能够以较高的效率找到优化或近似优化的方案。

本文根据产品中零件间的拆卸优先约束关系,通过基于二叉树的遗传算法实现对产品的选择性拆卸序列规划的快速求解。

### 1 基于混合图的拆卸序列优化模型

#### 1.1 拆卸模型描述

本文模型所考虑的产品拆卸需求的信息包括:拆卸零件信息、拆卸工艺信息和拆卸约束信息。具体描述如下:

- ① 拆卸零件信息。主要考虑产品中零件间的连接关系。
- ② 拆卸工艺信息。主要考虑拆卸过程中需要的拆卸工具。
- ③ 拆卸约束信息。主要考虑零件拆卸方向:  $+x, -x, +y, -y, +z$  和  $-z$ 。

根据上述产品零件的拆卸信息,建立拆卸混合图。产品零件分为功能件和连接件,本文建立的混合图包括功能件和连接件。混合图由有向边和无向边连接顶点。定义混合图的顶点为产品的零件或子装配体,拆卸过程就是要把这些零件从产品中分离出来。无向边和有向边表示零件或子装配体之间的装配约束关系。拆卸混合图表示为

$$G = \{VF, VC, E, DE\} \quad (1)$$

式中: $G$ 表示混合图; $VF$ 为顶点,表示功能件; $VC$ 表示连接件; $E$ 为无向边,表示零件之间有接触约束关系; $DE$ 为有向边,表示为零件之间非接触约束关系,是优先关系。例如:图1中顶点1,2,3,4,5,6,7,8为功能件,而9,10,11,12则为连接件;顶点1到顶点5为无向边,表示零件1和零件5之间有接触约束关系;顶点1到顶点3为有向边,表示零件1在零件3之前拆卸。拆卸混合图顶点和边除了表示零件之间的约束关系以外,还包括拆卸工具和拆卸方向的信息。这些信息在拆卸序列优化时起到重要作用。

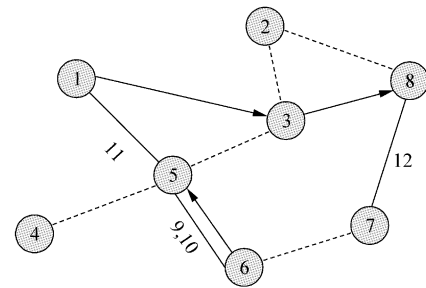


图1 拆卸混合图

Fig. 1 Disassembly hybrid graph

拆卸混合图中的无向边和有向边可以用稳定连接矩阵和方向优先矩阵表示,即假设  $G = \{VF, VC, E, DE\}$  是含有  $n$  个功能件和  $m$  个连接件的拆卸混合图,则  $G$  可由一个  $n$  维的连接矩阵  $G_c$  和一个  $n+m$  维优先矩阵  $G_p$  来表示。

在传统的拆卸序列规划中,采用产品零部件的连接图和连接矩阵来描述零部件单纯的接触关系,没有考虑产品的紧固连接关系。而本文中产品零件间的连接用稳定连接矩阵  $G_c$  来表示

$$G_c = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \cdots & c_{1,n} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \cdots & c_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n,1} & c_{n,2} & \cdots & c_{n,n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:当零件  $i (i=1, 2, \dots, n)$  与零件  $j (j=1, 2, \dots, n)$  存在稳定连接关系时,  $c_{i,j} = 2$ ;当零件  $i$  与零件  $j$  存在接触连接关系时,  $c_{i,j} = 1$ ;当零件  $i$  与零件  $j$  不存在连接关系时,  $c_{i,j} = 0$ 。对于混合图的无向边,实线无向边表示稳定连接,虚线无向边表示一般接触关系,边上的数值表示连接该两个零件的连接件的零件号。例如:图1中顶点1到顶点5为稳定连接关系;顶点4到顶点5为接触连接关系;同时可以看出当要拆卸零件8时,必须先拆卸其上的连接件12。

约束是零件之间的空间制约关系及其相关性的反应,零件的拆卸优先约束关系指的是,若产品中零件  $i$  对零件  $j$  的拆卸形成空间制约关系,则零件  $i$  的拆卸优先于零件  $j$ 。产品中零件的拆卸优先约束关系可用优先约束矩阵  $G_p$  来表示

$$G_p = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,n+m} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{n+m,1} & p_{n+m,2} & \cdots & p_{n+m,n+m} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $p_{i,j} = 1 (i, j=1, 2, \dots, n+m)$  表示零件  $j$  需要在零件  $i$  之前拆卸,  $p_{i,j} = 0$  表示零件  $i$  的拆卸不受零件  $j$  是否拆卸的制约。规定当  $i=j$  时,  $p_{i,j} = 0$ 。

## 1.2 选择性拆卸序列的生成

选择性拆卸序列是基于连接矩阵和优先矩阵的。首先确定需要拆卸的零件集合  $P_s$ , 其次再通过  $G_p$  和  $G_c$  确定选择性拆卸的零件集合  $N_p$ , 其中,  $N_p$  中的零件都是与  $P_s$  中的零件相关的。最后对生成  $N_p$  中的零件进行拆卸序列规划。所以选择性拆卸序列规划的主要问题就是确定选择性拆卸的零件集合<sup>[8]</sup>。通过进行下列步骤可以确定选择性拆卸的零件集合  $N_p$ : ①确定  $N_p$  并形成拆卸链, 初始设定  $N_p = P_s$ ; ②在该拆卸链中找出紧固件; ③找出和这些紧固件相连的零件; ④找出这些零件中的优先拆卸零件; ⑤把这些零件放入集合  $N_p$  中。

拆卸序列可行性判断, 序列中零件需同时满足以下两个条件则可以判断零件  $i$  是否为可拆卸零件: ①没有受到其他零件的优先约束; ②同时只与其他零件中一个零件有接触约束关系。

## 1.3 拆卸序列的优化

产品的拆卸应尽可能减少拆卸方向的改变次数和拆卸工具的更换次数, 以提高拆卸效率。所以本文结合这两个方面来对产品的拆卸序列进行优化。

拆卸规划之初通过预先定义每个拆卸零件的拆卸方向和拆卸工具, 从而对一个给定的产品确定拆卸序列, 其对应的拆卸方向和拆卸工具序列也随之确定。通过判断相邻两个零件的拆卸方向是否相同, 可计算出给定拆卸序列的拆卸方向。

$$d_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{拆卸零件 } i \text{ 和零件 } j \text{ 方向相同} \\ 1 & \text{拆卸零件 } i \text{ 和零件 } j \text{ 方向不同} \end{cases} \quad (4)$$

$$t_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{拆卸零件 } i \text{ 和零件 } j \text{ 的拆卸工具相同} \\ 1 & \text{拆卸零件 } i \text{ 和零件 } j \text{ 的拆卸工具不同} \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $d_{i,j}$  表示拆卸方向;  $t_{i,j}$  表示拆卸工具;  $i = 1, 2, \dots, n-1, n$  为零件的个数;  $j = 2, 3, \dots, n$ 。

根据上述分析, 对这两个评价指标进行加权则确定了拆卸序列优化的目标函数为

$$\text{Fitness}(S) = \sum_{i=1}^{n-1} \omega_d \times d_{i,j} + \sum_{i=1}^{n-1} \omega_t \times t_{i,j} \quad (6)$$

式中:  $S$  为可行的拆卸序列;  $\omega_d, \omega_t$  分别为拆卸方向和拆卸工具的权重。

## 2 拆卸序列优化模型的求解

遗传算法源于自然进化思想, 具体体现在遗

传算法中初始种群的设定、初始种群内的个体之间交叉、体内变异、新个体的产生及新种群的形成上。种群在适应度函数的约束下不断进化, 并最终得到最优或次最优的个体。因此本文将应用于拆卸序列的优化, 但是传统的遗传算法会产生很多不可行的解, 这些解导致搜索过程效率低, 尤其是在大规模限制条件的规划问题上难以找到可行解。而在初始种群的产生、种群的交叉和变异方面, 应用二叉树算法有助于解决产生大量不可行解的问题。因此, 本文采用遗传算法结合二叉树的算法, 从而提高了遗传算法的搜索效率<sup>[11-13]</sup>。本文算法基本流程如图2所示。

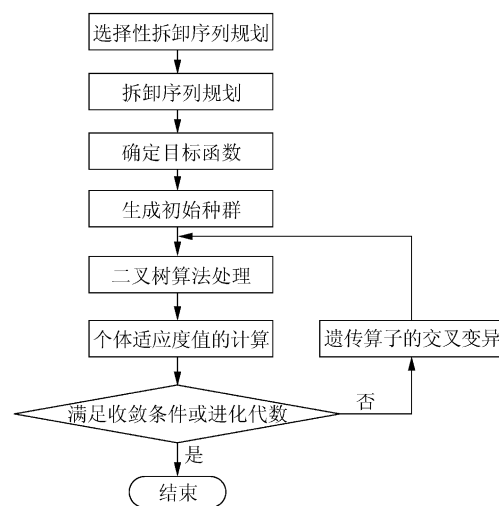


图2 本文算法的基本流程图

Fig. 2 Process of genetic algorithm (GA) with binary-tree

## 2.1 染色体构造

遗传算法中的染色体的结构通常就是解的形式, 采用的编码方法主要取决于不同问题。对于拆卸序列规划这个问题, 本文直接采用零件的顺序编号进行编码, 即每个染色体表示一种拆卸序列, 如染色体“1,2,3,4,5,6,7,8,9”表示零件的拆卸序列为: 1→2→3→4→5→6→7→8→9。

## 2.2 交叉操作

交叉操作就是把交叉双亲的部分结构加以替换重组生成新个体的操作。在双亲中随机产生2个交叉点, 在2个交叉点之间的基因(符号序列)做交叉, 产生2个子代。例如父代是:

Parent 1—(1 2 | 3 4 5 | 6 7 8)

Parent 2—(8 7 | 6 5 4 | 3 2 1)

“|”表示随机产生的交叉点, 则父代2个染色体进行交叉操作后得到的子代是:

Offspring 1—(1 2 | 6 5 4 | 3 7 8)

Offspring 2—(8 7 | 3 4 5 | 6 2 1)

其中,在非交叉部分有与交叉部分相同的基因,则随机选用未出现的基因来替代。

### 2.3 变异操作

变异操作作用在单个的个体上,这里采用倒置的变异操作。随机选择两个基因,倒置它们之间的基因的顺序。例如对于

Offspring 1—(1 2 | 6 5 4 | 3 7 8)

选择 6,3 这两个基因,则操作以后可生成

Offspring 3—(1 2 | 3 5 4 | 6 7 8)

### 2.4 二叉树算法介绍

首先介绍基于零件的二叉树结构的零件优先关系<sup>[14-15]</sup>。二叉树是等级信息结构树状图,用来对信息进行存储、组织和获取。要生成一个基于零件的二叉树信息结构,就要满足:零件的左边子节点应该在零件的根节点前装配而零件的右边子节点的装配优先级别最低。基于零件的二叉树生成步骤如下:

设  $Z$  表示染色体; $Z_h$  表示染色体  $Z$  所对应第  $h$  位置的零件, $h=1,2,\dots,n$ ;  $r$  表示根节点; $l$  表示叶节点。

步骤 1:随机产生一个染色体  $Z$ 。

步骤 2:设  $h=2$ 。

步骤 3:设  $Z_r$  对应的零件在根节点  $r$  处。

步骤 4:设  $Z_l$  对应的零件在叶节点  $l$  处,并且判断  $r$  和  $l$  的优先关系。

(1) 如果  $G_{prt}=1$ ,节点  $l$  对应零件的装配优先顺序高于节点  $r$  对应的零件。

① 如果  $r$  的左节点不为空,那么  $r$  的左节点处设新的根节点  $r$ ,同时重复步骤 4;

② 如果  $r$  的左节点是空的,那么在  $r$  的左节点处插入  $l$ ;设  $h=h+1$ ,转到步骤 5。

(2) 如果  $G_{prt}=0$ ,那么节点  $l$  对应零件和节点  $r$  对应的零件之间的装配序列没有限制。

① 如果  $r$  的右节点不为空,那么  $r$  的右节点处设新的根节点  $r$ ,同时重复步骤 4;

② 如果  $r$  的右节点是空的,那么在  $r$  的右节点处插入  $l$ ;设  $h=h+1$ ,转到步骤 5。

步骤 5:看  $h$  是否等于  $n$ ,如果  $h=n$ ,转到步骤 6;如果不是,转到步骤 3。

步骤 6:生成基于二叉树的可行解,同时结束算法。

例如:随机生成染色体  $Z$  如图 3 所示。

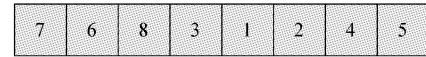


图 3 随机生成的染色体  $Z$

Fig. 3 Randomly generated chromosome  $Z$

根据上述零件二叉树生成步骤和第 2 节中  $G_p$  得该染色体的零件二叉树结构图如图 4 所示。图中:NULL 表示空节点,即该节点处没有零件。

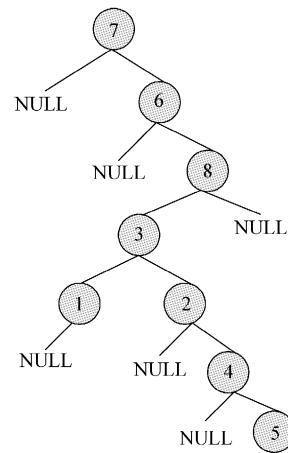


图 4 染色体  $Z$  的二叉树

Fig. 4 Binary-tree of chromosome  $Z$

根据二叉树的性质,初始染色体  $Z$  已经转变为如图 5 所示的染色体。

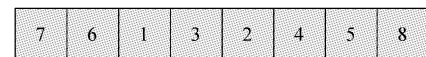


图 5 转变后的染色体  $Z$

Fig. 5 Chromosome  $Z$  after transforming

本文采用遗传算法结合二叉树的算法,在初始种群的产生、种群的交叉和变异方面应用二叉树算法有助于解决产生大量不可行解的问题,从而提高了遗传算法的搜索效率。

### 3 实例分析

基于本文求解算法,使用 MATLAB 6.5 编写了相应的遗传算法程序<sup>[13]</sup>。本文拆卸一个简化的民用飞机起落架中的外筒作为选择性拆卸序列规划的实例进行分析,其 CATIA 模型如图 6 所示。产品中零件之间的连接矩阵  $G_c$  和优先矩阵  $G_p$  是根据产品的 CATIA 模型,采用人机交互的方式生成。该 CATIA 模型的爆炸图如图 7 所示。该起落架的 CATIA 模型中共包含 22 个零部件,拆卸混合图如图 8 所示。其各零部件的信

息如表1所示,其中各个零件拆卸方向是以零件9(机轮)为基准的,机轮前后运动的方向为 $+x$ 和 $-x$ ,机轮左右运动的方向为 $+y$ 和 $-y$ ,机轮上下运动的方向为 $+z$ 和 $-z$ 。

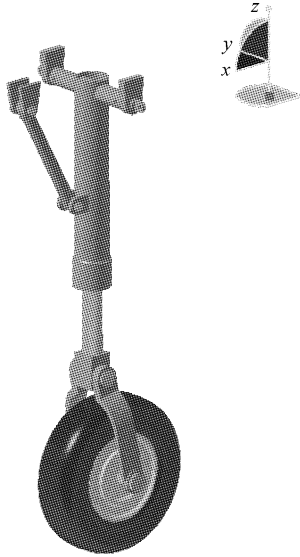


图6 起落架的CATIA模型

Fig. 6 CATIA model of landing gear

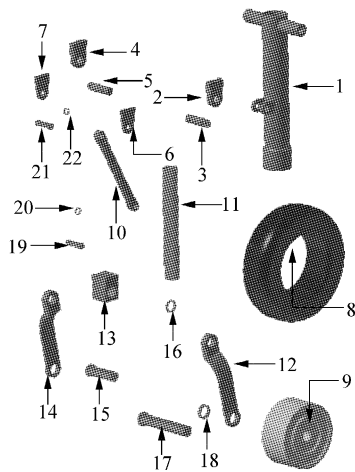


图7 起落架的爆炸图

Fig. 7 Parts of landing gear

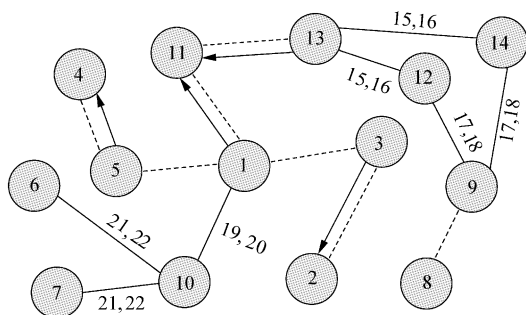


图8 起落架的拆卸混合图

Fig. 8 Disassembly hybrid graph of landing gear

表1 起落架零部件信息表

Table 1 Parts of landing gear information

序号	零件名称	拆卸方向	拆卸工具
1	外筒	$+z$	—
2	左夹板耳片	$+y$	钳子
3	左夹板耳轴	$+y$	拔具
4	右夹板耳片	$-y$	钳子
5	右夹板耳轴	$-y$	拔具
6	撑杆左夹板耳片	$+y$	—
7	撑杆右夹板耳片	$-y$	—
8	轮胎	$+y, -y$	—
9	机轮	$-z$	机轮装配机
10	撑杆	$+x$	拔具
11	活塞杆	$+x$	拔具
12	机轮左夹片	$+y$	—
13	活塞杆端头	$+z$	卡环
14	机轮右夹片	$-y$	—
15	螺母1	$-y$	开口扳手
16	螺栓1	$+y$	力矩扳手
17	螺母2	$-y$	开口扳手
18	螺栓2	$+y$	力矩扳手
19	螺母3	$-y$	开口扳手
20	螺栓3	$+y$	力矩扳手
21	螺母4	$-y$	开口扳手
22	螺栓4	$+y$	力矩扳手

由起落架的拆卸混合图可以得出其连接矩阵和优先矩阵。同时结合1.2节提出的方法可以得出选择性拆卸零件集合  $N_p = \{1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 19, 20\}$ 。在得出  $N_p$  之后,下面进行选择性拆卸序列的优化。在民机维修拆卸过程中,由于飞机体积较大,拆卸方向的改变对整个拆卸影响也较大,而且现在的民机维修过程中有维修对象修理工具的打包,所以拆卸工具的影响相对较小。因此,本文目标函数 Fitness 中其权重分别为:  $\omega_d = 0.6, \omega_t = 0.4$ ;优化求解过程中,遗传算法中的参数值如下:种群大小为40,交叉概率为0.5,变异概率为0.1,循环次数为200。算法收敛特性如图9所示。其生成的拆卸序列为:  $3 \rightarrow 20 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 19 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 5 \rightarrow 4$ ;其适应度函数值为7.2。经过多次反复试验,本文遗传算法中参数变化对结果影响如表2所示。同时表2的结果也说明了本算法的可行性。

同时本文也采用传统的遗传算法对拆卸零件进行拆卸序列优化。参数设置同上。本文算法与传统遗传算法的比较如图10所示。

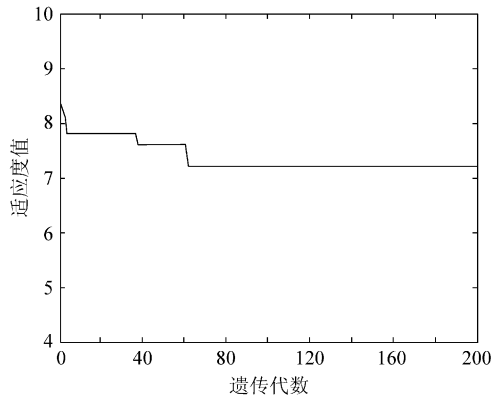


图 9 本文算法收敛特性图

Fig. 9 Convergence of improved GA

表 2 各次主要试验的计算结果

Table 2 Results of different tests

初始种群	循环次数	最优或近似最优值	达到最优或近似最优的代数	算法消耗时间/s
20	100	7.4	46	1.89
30	200	7.4	54	3.15
40	200	7.2	60	3.78
60	200	7.2	57	4.82

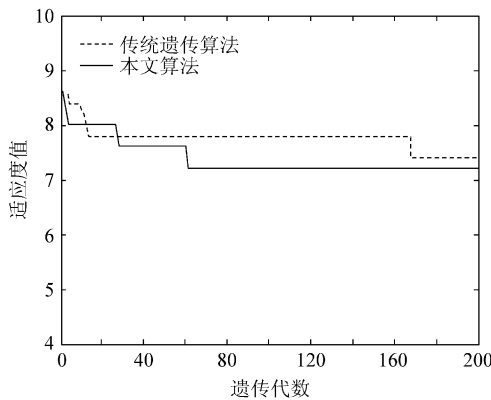


图 10 两种算法对功能件拆卸序列优化特性比较图

Fig. 10 Comparison of GA and improved GA

从图 10 可以看出,遗传算法的最优解受初始种群的影响较大,在对遗传算法的初始种群进行处理后避免了算法过早的进入局部最优,从而较好地优化了拆卸序列。同时从本文算法的收敛代数可以得出本算法收敛速度较快,可以有效处理大规模的拆卸序列规划问题。

#### 4 结 论

(1) 在现有拆卸序列规划研究的基础上,提出了一种基于拆卸混合图的选择性拆卸序列优化的模型。

(2) 利用基于二叉树的遗传算法,对拆卸序

列进行了优化求解,并给出了详细的求解方法。

(3) 采用基于二叉树遗传算法来优化拆卸序列,克服了传统遗传算法产生很多不可行的解,而导致搜索过程效率低和容易陷入局部最优的问题。这也是本文算法能够有效地优化拆卸序列的一个重要原因。

(4) 通过实例分析,表明了本文所提出的模型能够有效处理选择性拆装序列规划问题。

#### 参 考 文 献

- [1] Veerakamolmal P, Gupta S M, McLean C R. Disassembly process planning[C]// First International Conference on Engineering Design and Automation. 1997.
- [2] Veerakamolmal P, Gupta S M. A case-based reasoning approach for automating disassembly process planning[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2002, 13(1): 47-60.
- [3] Gungor A, Gupta S M. An evaluation methodology for disassembly processes[J]. Computers and Industrial Engineering, 1997, 33(1): 329-332.
- [4] Erdos G, Kis T, Xirouchakis P. Modelling and evaluating product end-of-life options[J]. International Journal of Production Research, 2001, 39(6): 1203-1220.
- [5] Moore K E, Gungor A, Gupta S M. Petri net approach to disassembly process planning for products with complex AND/OR precedence relationships[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 135(2): 428-449.
- [6] Tseng H E, Li J D, Chang Y H. Connector-based approach to assembly planning using genetic algorithms[J]. International Journal Production Research, 2004, 42(11): 2243-2261.
- [7] Chung C, Peng Q J. An integrated approach to selective-disassembly sequence planning[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2005, 21(4/5): 475-485.
- [8] Chung C, Peng Q J. A hybrid approach to selective-disassembly sequence planning for de-manufacturing and its implementation on the Internet[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 30(5/6): 521-529.
- [9] Srinivasan H, Figueroa R, Gadh R. Selective disassembly for virtual prototyping as applied to de-manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 1999, 15(3): 231-245.
- [10] Srinivasan H, Gadh R. A non-interfering selective disassembly sequence for components with geometric constraints[J]. IIE Transactions, 2002, 34(4): 349-361.
- [11] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京:清华大学出版社,2004.  
Gen Mitsuo, Cheng Runwei. Genetic algorithms and engineering optimization[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese)

- [12] 金东海, 桂幸民. 混合遗传算法的研究及其在压气机叶型优化设计中的应用[J]. 航空学报, 2006, 27(1): 29-32.  
Jin Donghai, Gui Xingmin. Design optimization of compressor blades by hybrid genetic algorithm[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2006, 27(1): 29-32. (in Chinese)
- [13] 陈果. 用结构自适应神经网络预测航空发动机性能趋势[J]. 航空学报, 2007, 28(3): 535-539.  
Chen Guo. Design forecasting engine performance trend by using structure self-adaptive neural network[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2007, 28(3): 535-539. (in Chinese)
- [14] 葛志远, 王永县, 南兰, 等. 基于二叉树结构编码的遗传算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2000, 40(10): 125-128.  
Ge Zhiyuan, Wang Yongxian, Nan Lan, et al. Genetic algorithms based on bintree structure encoding[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2000, 40(10): 125-128. (in Chinese)
- [15] 黄星梅, 卿海鸽. 基于二叉树的装配体数据[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2003, 30(2): 47-50.  
Huang Xingmei, Qing Haige. Data structure of assembly model based on binary tree[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences Edition, 2003, 30(2): 47-50. (in Chinese)

#### 作者简介:

吴昊(1982—) 男, 博士研究生。主要研究方向: 民机维修工程、维修决策理论研究。

Tel: 025-84895772

E-mail: michaelwu2010@126.com

左洪福(1959—) 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 摩擦学、铁谱分析、机械设备故障诊断、磨损检测和维修工程等。

Tel: 025-84895772

E-mail: rms@nuaa.edu.cn

(责任编辑: 蔡斐, 杨冬)

## 征文 通知

## 2009 亚太航空航天技术国际研讨会征文通知

2009 亚太航空航天技术国际研讨会(2009 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology)是由日本、韩国、中国和澳大利亚等四国的航空学术组织首次联合举办的学术交流活动。中国航空学会是会议的联合组织者之一。会议定于2009年11月4日至6日在日本岐阜举行。由日本航空宇航学会承办。现将有关征文通知转发, 请感兴趣的会员直接将论文摘要投送到会议电子信箱, 并转抄中国航空学会电子信箱:

会议信箱: tsakai@nuae.nagoya-u.ac.jp

学会信箱: lunwen@csaa.org.cn。

请作者投稿时将本单位出具的保密审查证明寄送我会。

重要时间: 提交摘要截止期: 2009年6月26日

通知录用时间: 2009年7月31日

提交全文截止期: 2009年9月11日

中国航空学会联系人: 余策, 王晓舟

电话: 010-84924387, 010-84923943

邮寄地址: 北京 761 信箱 2 分箱中国航空学会 100012

附: 征文通知(可从学会网站 www.csaa.org.cn 对外交流/活动通知栏目下载)