

文章编号: 1005-0523(2005)04-0052-03

一种新的 JSSP 免疫算法

徐雪松, 彭春华

(华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 免疫算法是借鉴生物免疫系统原理建立起来的一种新的并行优化算法, 用于求解具有多模态性质的函数优化问题具有较好的效果. 由于 JSSP (Job-Shop 调度问题) 是一个典型的具有多模态性质的复杂函数优化问题, 本文将免疫算法应用于求解 JSSP, 该算法模拟 B 细胞的克隆选择过程, 通过编码模式的高变异克隆选择完成最佳调度方案的全局搜索. 仿真结果表明该算法优化速度快, 全局搜索能力强, 不易产生不可行解, 搜索效率较高, 具有较好的 JSSP 调度优化效果.

关键词: 免疫算法; JSSP; 优化

中图分类号: O242.1; TP301.6

文献标识码: A

1 引言

JSSP 是一个具有多模态性质的组合优化问题. 进化算法作为一类性能优良的全局优化算法, 常被用来求解 JSSP 问题, 这其中应用最多的是遗传算法 (GA). 目前存在的问题是: 基于 GA 的调度算法常出现早熟现象. 同时, 算法对初始种群的选取比较敏感, 而且要考虑工序的前后约束、非堵塞约束, 交叉算子的构造比较复杂, 容易产生不可行解. 优化效果不是十分理想^[1].

免疫算法是近年来借鉴生物免疫系统工作机理发展起来的并行优化算法. 该算法采用高变异克隆选择为主要的搜索方式, 全局搜索能力强; 种群模式收敛效应不明显, 能够有效保持种群模式的多样化, 因而不易产生早熟现象, 尤其适用于多模态函数优化^[2]. 本文将免疫算法用于求解 JSSP 问题, 提出了一种新的 JSSP 调度算法. 该算法将每一个活动调度作为一个 B 细胞, 通过 B 细胞的高变异克隆选择, 实现最佳调度方案的全局搜索和筛选. 此外, 通过采用恰当的变异方式保证 B 细胞经过变异后

仍是一种活动调度方式, 从而避免在搜索过程中产生大量不可行解, 提高了算法的搜索效率. 仿真结果表明该算法搜索能力强, 优化速度快, 能够获得更好的活动调度方案.

2 免疫优化机理及其免疫算法

生物免疫系统的优化功能主要体现为 B 细胞的克隆选择机制. 根据克隆选择理论, 抗体遇到抗原后, 亲和度较高的抗体会绑定抗原, 同时激励分泌这种抗体的免疫 B 细胞发生克隆增殖, 生成大量新的 B 细胞. 在克隆过程中, 由于出现了高概率的基因变异, 使得子细胞与母细胞不完全相同, 其中亲和度更高的后代, 在受同类抗原刺激下, 拥有更强的克隆增殖能力, 反之则逐步衰亡. 这样, 通过不断的筛选、进化, 使得生存下来的细胞的亲和度能够快速提高, 最后产生与抗原高度亲和的 B 细胞, 分泌抗体消灭抗原.

免疫算法是根据上述原理提出的. 其基本思想是: 将待优化问题的最优解作为抗原, 候选解为 B 细胞, 根据个体的性能指标确定两者之间的亲和

收稿日期: 2004-12-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (69904009)

中国知网 <http://www.cnki.net> 徐雪松 (1879) 华东交通大学副教授, 主要研究方向为计算智能与智能控制系统.

度,以克隆选择为基本搜索算子,通过B细胞群体的进化,逐步提高B细胞的亲和度,最终获得亲和度最高的个体作为问题的解.其基本步骤包括:

步骤1:随机生成初始B细胞种群

步骤2:计算种群中B细胞的亲和度,并根据亲和度大小进行高变异克隆操作

步骤3:计算克隆子细胞的亲和度,并根据子细胞亲和度大小,用性能改良后的子细胞替代母细胞.同时在种群中随机引进部分新细胞,形成新一代B细胞群

步骤4:不满足结束条件,则重复步骤2、3

3 免疫调度算法

1) JSSP 问题的数学描述

假定有 n 个工件在 m 台机器上加工,已知各操作的加工时间和加工次序约束,则JSSP问题可以描述为要求确定与工艺约束条件相容的所有工件的加工次序或加工时间,使加工性能指标达到最优.假设采用最小加工时间 C_{max} 为性能指标时,问题可描述为:

$$\begin{aligned}
 & \min [\max_{1 \leq k \leq m} (\max_{1 \leq i \leq n} C_{ik})] \\
 & s.t. \quad C_{ik} - \rho_{ik} + L(1 - \alpha_{ihk}) \geq C_{ih}, \\
 & \quad i=1,2,\dots,n, \quad h,k=1,2,\dots,m \\
 & \quad C_{jk} - C_{ik} + L(1 - x_{ijk}) \geq p_{jk}, \\
 & \quad i,j=1,2,\dots,n, \quad k=1,2,\dots,m \\
 & \quad C_{ik} \geq 0, \\
 & \quad i=1,2,\dots,n, \quad k=1,2,\dots,m \\
 & \quad x_{ijk} = 0 \text{ 或 } 1, \\
 & \quad i,j=1,2,\dots,n, \quad k=1,2,\dots,m
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

其中的 C_{ik} 表示工件 i 在机器 k 上的完成时间, p_{ik} 表示工件 i 在机器 k 上的加工时间, L 为一个足够大的正数, α_{ihk} 为标志变量,若机器 h 先于机器 k 加工工件 i ,则 $\alpha_{ihk} = 1$, 否则为 0, x_{ijk} 为标志变量,若工件 i 先于工件 j 在机器 k 上加工,则 $x_{ijk} = 1$, 否则为 0.

2) 算法描述

算法流程如下:

步骤1:初始化.确定机器顺序阵和加工时间阵,产生初始B细胞群.

步骤2:重复执行本步骤,直至结束

步骤2.1:计算所有B细胞的亲和度,确定克隆

细胞数目.

步骤2.2:对所有B细胞进行高变异克隆,生成克隆细胞群.

步骤2.3:对所有克隆细胞进行解码,计算亲和度,按亲和度大小排序

步骤2.4:剔除冗余细胞后,选择部分亲和度较大的细胞替换母细胞.

步骤2.5:从细胞群中,删除部分亲和度较低的细胞,随机产生新细胞补足

步骤3:满足结束条件,选择亲和度最大的B细胞作为结果输出.

为了使任意基因串的置换排列均能表示一个可行调度,B细胞编码采用基于工件的编码方式.即将每一个染色体用 $n \times m$ 个代表操作的基因表示,每个编码是所有操作的一个排列,各工件号均出现 m 次.解码时,先将编码转化为一个有序的操作表,然后,基于该表和工艺约束,对各操作以最早允许时间进行加工,生成活动调度方案.

以 $4/4/G/C_{max}$ 为例,共有 16 种操作,则编码有 16 位基因.每位基因值 $\in \{1,2,3,4\}$, 分别代表工件 1、2、3、4.每个编码中每种基因有且只有 4 个,并按出现的先后顺序,对应工件的四种操作.设某 B 细胞编码为 $[4,4,3,2,4,1,3,3,2,1,2,3,4,1,1,2]$, 用 J 表示工件, O 表示工序,对应操作为: $J4O1, J4O2, J3O1, J2O1, J4O3, J1O1, J3O2, J3O3, J2O2, J1O2, J2O3, J3O4, J4O4, J1O3, J1O4, J2O4$. 将上述操作按要求安排到相应机器上进行加工,便形成一种活动调度方案.假设机器顺序阵 M 和加工时间阵 T 为

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 4 & 1 & 3 \\ 2 & 3 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

上述编码对应活动调度甘特图见图 1.

由于本文采用最小加工时间 C_{max} 为活动调度方案的性能指标,同时为了将求极小值问题转换成求极大值问题.因此 B 细胞亲和度 f 采用如下公式计算:

$$f = \alpha - C_{max} \tag{2}$$

其中 α 是一个足够大的正数,其选择原则是应比 C_{max} 大,以保证 f 值为正;但不宜过大,以免影响搜索效率.

高变异克隆过程为:根据亲和度大小,按一定

数目拷贝细胞编码模式,构成克隆子细胞群.其中拷贝是不精确拷贝,要求拷贝过程中,细胞模式按一定规律随机发生高概率变异,其中亲和度越小变异程度越大,克隆子细胞越少,反之亦然.



图1 编码对应的调度甘特图

高变异采用插入变异方式,即随机从编码中抽出一个基因,然后将该基因随机插入编码的另一位置.方法如下:

首先确定编码最大变异程度,即执行插入操作的基因个数 N:

$$N = \langle k_1 e^{-k_2 \frac{f - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min} + \epsilon}} \rangle + 1 \quad (3)$$

其中 k_1, k_2 为正的常数, $\langle \rangle$ 为取整函数, ϵ 为足够小的正数,用来防止除零.

然后随机选择实际变异程度,确定细胞某次变异的基因个数 N_1 :

$$N_1 = \langle (N-1)r \rangle + 1 \quad (4)$$

r 是(0, 1)间服从均匀分布的随机数.

最后从 B 细胞编码中随机抽取 N_1 个基因,并随机选择 N_1 个插入点,重新插入所选基因,形成克隆子细胞.

克隆子细胞群体数目为 n :

$$n = \langle \alpha - \frac{f - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min} + \epsilon} \rangle + \beta \quad (5)$$

其中: α, β 为正整数;

冗余模式通过计算两种模式之间的海明距离确定,消除冗余模式的方法是:首先计算细胞间海明距离,将海明距离小于特定值的细胞归为一个同类;然后在同类细胞中,根据亲和度大小排序,保留亲和度最大的细胞,其它作为冗余细胞被删除.

4 仿真比较

本文选择文^[3]中三个算例作为基准测试算例,用本文算法进行计算,并将结果与文^[4]中的遗传算法结果相比较,每个算例执行 20 次,结果见表 1.

表1 优化结果比较

算例	全局最优值	遗传算法	本文算法
MT06	55	55/56.8/2397	55/55/1123
MT10	930	997/1039/7823	939/957/5750
MT20	1165	1247/1304/12830	1175/1199/8611

注:全局最优值为实际最小 C_{\max} 值;939/957/5750 的含义是经过 20 次优化,所有最优个体中, C_{\max} 的最小值为 939;平均值为 957;算法收敛所需的平均评价次数为 5750 次.

从表 1 结果看,通过本文算法所获得的最优个体显然比 GA 更接近全局最优.同时考察 20 次优化过程,本文算法的每次优化所得的最优个体 C_{\max} 的平均值与最小值差距比较接近.并且本文算法收敛与最优值所需的评价次数也较少.可见本文算法在全局搜索能力、算法稳定性和优化速度三方面均优于 GA.

5 结论

本文将免疫算法用于求解车间作业调度问题,提出了一种新的 JSSP 免疫调度算法.该算法采用 B 细胞编码高变异克隆的方式进行最优模式的全局搜索,通过克隆选择的方式进行优化模式的筛选和进化,具有维持种群模式多样性的能力强、优化速度快、搜索过程不易产生不可行解,因而搜索效率较高的优点.根据典型算例的仿真结果,该算法可以快速获得比 GA 更好的 JSSP 调度方案.

参考文献:

- [1] 王书锋, 邹益仁. 车间作业调度(JSSP)技术问题简明综述[J]. 系统工程理论与实践. 2003(1): 49-54.
- [2] de Castro L N, Fernando J. Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2002, 6(3): 239-251.
- [3] Muth J F, Thompson G L. Industrial scheduling. NJ: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1963.
- [4] 王 凌. 车间调度及其遗传算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

(下转第 59 页)

Development of hand-held GPS equipment based on MCU

ZHOU Bao-lin, LIN Zhi-ming, LI Zhong-qi

(School of Electrical and Electronic Eng. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The design of GPS (Global Positioning System) portable receiver is introduced in detail. The receiver has been realized on the basis of MCU, GPS receiver and LCD screen etc. The system is discussed in two aspects, software and hardware. It is widely used in traveling, navigations, land surveys, prospecting and many other fields. And it is designed based on principles of GPS, which is small bulk, easy to take and can be independently used.

Key words: GPS (Global Positioning System); W77E58; LCD screen; OEM (Original Equipment Manufacturer)

(上接第54页)

A New Immune Algorithm for JSSP

XU Xue-song, PENG Chun-hua

(School of Electrical & Electronic Engineering, East China Jiaotong Univ., Nanchang, 330013, China)

Abstract: Immune algorithm is a new parallel optimization algorithm based on immune mechanism of creature. It has good performance on multi-modal function optimization. Because Job-Shop Schedule problems (JSSP) are known to be a classical complex function optimization problem with multi-modal characteristics, the immune algorithm is applied to solve JSSP here. In this paper, by mimicking the clonal process of B cells, clonal and selection operator is formulated acting as the main searching method to find the optimal. Simulation results show its excellent optimization performance on JSSP.

Key words: immune algorithm; JSSP; optimization