

# 基于细菌觅食算法车间调度系统的研究

王文耀 涂海宁 夏芳臣 马兆彬

(南昌大学机电工程学院,南昌 330031)

**摘要:**细菌觅食优化算法最早于 2002 年提出,是一种于基于人体内的大肠杆菌的觅食行为提出来的新的进化计算方法。在本文中,我们改进的基于群体搜索方法是细菌觅食算法的一个重要内容,细菌觅食算法在这里被运用到了车间生产调度系统中来,极大地优化了车间调度系统的加工生产过程。

**关键词:**细菌觅食算法 群体 车间调度 优化

车间调度问题(Job-Shop Scheduling Problem,简称 JSP)是生产管理及组合优化等领域的热点之一。车间调度的实质是属于 NP-Hard (Nondeterministic polynomial-Hard)组合问题。对于这类问题,主要为了寻求满意解,而细菌觅食算法是近年来所提出的一种新的算法,该算法对于解决组合优化中的 NP 问题非常有效。本文主要就使用改进标准的细菌觅食优化算法来解决一类特殊的组合优化难题-车间调度问题。

## 1 基于细菌觅食算法的车间作业调度的数学模型

车间作业调度问题可以描述为:m 台机器(用集合  $M=\{M_j\}_{j=1}^m$  表示)加工 n 个工件(用集合  $G=\{G_i\}_{i=1}^n$  表示),每个工件包含由多道工序组成的一个工序集合,工件的工序顺序是预先确定的,每道工序可以在多台不同的机床上加工,工序加工时间  $t_{ij}$  随机床的性能不同而变化。在可行调度中确定每个工序的开始时间  $s_{ij}$ ,使总完工时间  $f_{\max}$  最小,即  $f_{\max}^*=\min(f_{\max})=\min\{\max(s_{ij}+t_{ij}):G_i\in G, M_j\in M\}$ ,求解满足以上条件的工件加工顺序即构成了车间作业调度问题,问题是机器上工序的加工顺序使得某个性能指标取得最优值<sup>[1]</sup>。

各项参数符号作如下定义<sup>[3]</sup>:

$N_i$ :对第 i 个工件进行加工的组合的总数,在这里  $i\in(1,2,\wedge n)$ ;

$T_{jkl}$ :第 j 个工件第 k 个工序在第 l 台设备上的加工时间( $j\in(1,2,\wedge n), k\in(1,2,\wedge n), l\in(1,2,\wedge n)$ );

$G$ :表示所有工件的集合,  $G=\{G_1, G_2, \wedge G_n\}$ ;

$M$ :表示所有机器的集合,  $M=\{M_1, M_2, \wedge M_m\}$ ;

$O_{ji}$ :表示工件  $G_i$  的工序集合,  $O_{Gi}=\{O_{G1}, O_{G2}, \wedge, O_{Gn}\}$ ;

$G_M$ :表示机器顺序阵,此为  $n\times\max\{O_1, O_2, \wedge, O_n\}$  矩阵,  $G_M(j,k)$  表示加工 j 工件的第 k 道工序的机器号,  $G_M(j,\cdot)$  表示 j 工件的所有工序按优先顺序加工的各机器号的排列。当工件的工序数不足  $\max\{O_1, O_2, \wedge, O_n\}$  那么,矩阵空余位置用 0 来代替。

$O$ :表示所有工序的集合,此为  $n\times\max\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$  矩

$$G_M = \left\{ \begin{array}{cccccc} \overbrace{M_{O_{G11}} \ M_{O_{G12}} \ \dots \ M_{O_{G1O_1}}}^{O_1} & \overbrace{0 \ 0 \ \dots \ 0}^{O_1-O_1} & & & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ M_{O_{G11}} & M_{O_{G12}} & \dots & M_{O_{G1O_1}} & M_{O_{G1(O_1+1)}} & M_{O_{G1(O_1+2)}} \dots M_{O_{G1O_n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{O_{Gn1}} & M_{O_{Gn2}} & \dots & M_{O_{GnO_n}} & M_{O_{Gn(O_n+1)}} & 0 \dots 0 \end{array} \right\}$$

$O_1+1 \qquad \qquad \qquad O_1-O_1-1$

阵。 $O(j,k)$ 表示第 j 工件的第 k 道工序。 $O(j,\cdot)=O_{ji}$ 表示 i 工件的所有工序按优先顺序的排列。如果某工件的工序数不足  $\max\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ ,那么,矩阵的空余位置用 0 代替。

$$O = \left\{ \begin{array}{cccccc} \overbrace{O_{G11} \ O_{G12} \ \dots \ O_{G1O_1}}^{O_1} & \overbrace{0 \ 0 \ \dots \ 0}^{O_1-O_1} & & & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ O_{G11} & O_{G12} & \dots & O_{G1O_1} & O_{G1(O_1+1)} & O_{G1(O_1+2)} \dots O_{G1O_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ O_{Gn1} & O_{Gn2} & \dots & O_{GnO_n} & O_{Gn(O_n+1)} & 0 \dots 0 \end{array} \right\}$$

$O_1+1 \qquad \qquad \qquad O_1-O_1-1$

$T$ :表示加工时间阵,此为  $n\times\max\{O_1, O_2, \wedge, O_n\}$  矩阵。 $T(j,k)$ 表示工件 j 第 k 道工序在  $G_M(j,k)$  上的加工时间。当工件的工序小于  $\max\{O_1, O_2, \wedge, O_n\}$ ,在时间矩阵中的位置用 0 代替。

$$T = \left\{ \begin{array}{cccccc} \overbrace{T_{O_{G11}} \ T_{O_{G12}} \ \dots \ T_{O_{G1O_1}}}^{O_1} & \overbrace{0 \ 0 \ \dots \ 0}^{O_1-O_1} & & & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ T_{O_{G11}} & T_{O_{G12}} & \dots & T_{O_{G1O_1}} & T_{O_{G1(O_1+1)}} & T_{O_{G1(O_1+2)}} \dots T_{O_{G1O_n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ T_{O_{Gn1}} & T_{O_{Gn2}} & \dots & T_{O_{GnO_n}} & T_{O_{Gn(O_n+1)}} & 0 \dots 0 \end{array} \right\}$$

$O_1+1 \qquad \qquad \qquad O_1-O_1-1$

$M_j$ :表示工件排列阵,此为  $\max\{O_1, O_2, \wedge, O_n\}\times n$  矩阵。 $M_j(j,k)$ 在 j 机器上排列在第 k 位进行加工的工件号,  $M_j(j,\cdot)$ 表示 j 机器上依次加工的各工件的排列。如果某工件的工序数不足  $\max\{O_1, O_2, \wedge, O_n\}$ ,其余的位置用 0 填满。

我们利用的细菌觅食算法算子  $T_i=g(J(i,j,k,l))$ 表示某个工件在某种机器加工的排列下加工所用的时间

( $J(i,j,k,l)=J(i,j,k,l)+J_{cc}(\theta^i(j,k,l))$ )表示一个关于细菌觅食算子的工件排序序列,这样的排列有  $N_i$  种。可以利用细菌觅食算法对该排列进行搜索,并对构成不同的时间排列组合  $T$ ,机器的排列组合  $G_M$ ,工序的排列组合  $O$  综合评估,然后得到最优的工件排列阵  $M^*$ ,使得在加工的过程中,加工时间最短。这就是基于群体的细菌觅食算法在车间调度系统中的应用<sup>[3][6]</sup>。

车间调度的数学模型的建立<sup>[2]</sup>:

在这里,首先建立一个目标函数  $f(T^*_j)$ ,如果对应于一个确定的  $M^*_j$ ,使得整个的调度生产安排时间函数满足  $f(T^*_j)=\min\{f(T^*_1),f(T^*_2),\dots,f(T^*_s)\}$ ,目标函数取值最小( $f(T^*_j)$ 表示车间作业中最终完成所花费的总的时间),且与  $G_M$  相容,则称  $M^*_j$  为车间作业调度问题在此目标函数下的最优解。

## 2 细菌觅食优化算法

细菌觅食算法(Bacteria Foraging Optimization algorithm,简称BFO)算法是由Kevin M. Passino于2002年提出的一种仿生随机搜索算法,其生物学基础是人类肠道中大肠杆菌在觅食过程中提出的一种仿生随机搜索算法,在搜索过程中通过营养分布函数来判断搜索算法的优劣。在用BFO模型中,优化问题的解对应搜索空间中的细菌的状态,即优化函数的适应值。BFO的算法包括趋化(chemotaxis),复制(reproduction)和驱散(elimination-dispersal)三个步骤<sup>[4][5]</sup>。

在细菌觅食算法优化搜索过程中有三层循环,最外层为迁移操作循环,中间层的复制循环和最内层的趋向性操作循环。

设  $N_c, N_{re}, N_{ed}$  分别表示趋向性操作,复制操作和迁移操作需要执行的次数。 $P(i,j,k)=\{\theta^i(i,j,k)|i=1,2,\dots,s\}$ 表示各个细菌个体所初始位置的集合,并且初始状态时  $l=k=j=0$ 。

步骤1:初始化群体,利用评价函数对群体中的各个体进行优劣评估;

步骤2:迁移循环  $l=l+1$ ;

步骤3:复制循环  $k=k+1$ ;

步骤4:趋向性操作循环  $j=j+1$ 。在趋向操作的过程中,当个体位置  $P(j,k,l)$  发生改变时,方向调整可用  $\theta^i(j+1,k,l)=Q^i(j,k,l)+C(i)\varphi(j)$  来表示,  $\varphi(j)=\frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T(i)\Delta(i)}}$  表示进行方向调整后选定的方向( $\Delta(i)$ 表示产生方向上的向量), $C(i)$ 表示在  $\varphi(j)$  方向上前进的步长。营养分布函数  $J(i,j,k,l)=J(i,j,k,l)+J_{cc}(\theta^i(j,k,l))$  也会随之改变。在这里各个体之间的营养吸收函数如下:

$$J_{cc}(\theta, P(j,k,l)) = \sum_{i=1}^s J_{cc}(\theta, \theta^i(j,k,l))$$

$$= \sum_{i=1}^s \left[ -d_{attract} \exp \left( -\omega_{attract} \sum_{m=1}^p (\theta_m - \theta_m^i)^2 \right) \right] +$$

$$\sum_{i=1}^s \left[ -d_{repellant} \exp \left( -\omega_{repellant} \sum_{m=1}^p (\theta_m - \theta_m^i)^2 \right) \right]$$

这个函数描述了在群体觅食的过程中,各个体之间的影响。

步骤5:如果  $j < N_c$  ( $N_c$ 表示趋向性操作执行的次数),转向步骤4;

步骤6:复制操作;在这里,对于给定的  $k, l$  而言,每一个正常的个体  $i=1, 2, \dots, S$ , 单个个体的健壮函数  $J_{health} = \sum_{j=1}^{N+1} J(i,j,k,l)$  越大,则健壮性就越差,这样  $S_r = \frac{S}{2}$  个健壮性差的(也就是  $J_{health}$  值大)个体就会被淘汰。为了保持个体总数  $S$  的一致性,再对剩余健壮性好的  $S_r$  个体进行复制。

步骤7:如果  $k < N_{re}$  ( $N_{re}$ 表示复制操作执行的次数),转向步骤3;

步骤8:迁移操作,每个个体发生迁移的概率为  $P_{ed}$ ;

步骤9:  $l < N_{ed}$  如果( $N_{ed}$ 迁移操作执行的次数),则转向步骤2,否则整个算法结束。

流程图如图2所示<sup>[3]</sup>:

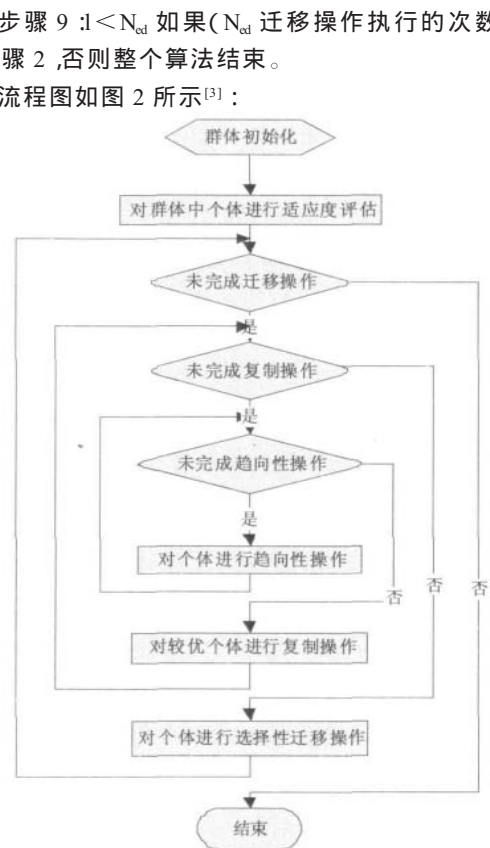


图2 细菌觅食算法流程图

## 3 细菌觅食算法在车间调度系统的改进

在车间调度过程中,首先执行的是趋化操作,实现了对加工工件的搜索。首先要确定当前群体中的最优个体,然后由随机函数随机选定一个工件号,该工件在最优个体上开始的加工位置在新产生的个体上将保持不变,即新产生的个体需要保证被选出的工件号的开始加工顺序与在最优个体上的位置相同。基于个体自身的搜索进行完毕后,可使整个群体中的个体的适应度普遍得到提高,接下来再进行个体间的信息的交换,即基(下转第11页)

End Sub

保存结果如图 2 所示,这是一个 Word 文件。

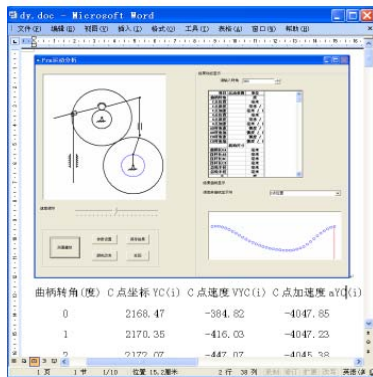


图 2 在 VB 中形成的 Word 文档

### 3 结语

在 VB 平台上进行程序开发时,可以通过 API 函数与剪切板技术实现 VB 与 Word 之间的数据交换;通过 ActiveX 接口与 DDE 技术,可以实现 VB 与 AutoCAD 之间的数据交换;通过 ActiveX 接口与 OLE 技术,可以在 VB 程序中创建、访问和编辑 AutoCAD 对象,还可以将 AutoCAD 对象制作成动画。

利用 VB 强大的可视化功能不仅可以极大地提高开发效率,还可以增强程序的可维护性。

(上接第 8 页)于群体的搜索。

复制操作的过程中,当有健壮性差的个体被淘汰以后,就自动对剩余的健壮性好的个体进行复制操作,使得在搜索的过程中,所有个体的总数保持不变。

对于迁移操作,在这里可做一点改进,其基本思想是使耗时长的工序尽可能提前加工。通过迁移操作的改进提高了整个群体的适应度,是因为如果得到的新个体比当前群体中的最差个体更好,则用该个体取代当前最差个体,这样整个群体的平均适应度就得到了提高,保留了群体中的优秀个体,增加了群体中的优秀基因,为找到最优解或满意解提供了更大的可能性。

### 4 结语

本文应用细菌觅食算法来优化车间调度系统中工件加工的排序问题,使得车间的工作效率达到极大提高。在这个算法排序的过程当中,其中一个重要的环节就是觅食算子的确定,并且确定觅食算子中各参数的对应关系,建立起基于觅食算法的数学模型,通过该模型来求解调度中的算法问题。BFO 也只能通过不同的约束条件来提高的车间生产调度效率,但是车间作业调度问题毕竟是一个 NP 难题,要想完全解决它还需要不断的探索,需要进一步努力<sup>[1][3]</sup>。

### 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(1):49-50.

### 参考文献

- [1] 毛炳秋,林莉.用 VB 编程设计齿轮传动并在 AutoCAD 中自动生成图形研究[J].现代机械,2006(5):75-76.
- [2] 席俊杰.中文版 AutoCAD2008 机械设计快速入门实例教程[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [3] 李江全等. Visual Basic 串口通信与测控应用技术实战详解[M].北京:人民邮电出版社,2007.
- [4] 明日科技. Visual Basic 开发技术大全[M].北京:人民邮电出版社,2007.

The Technology of Date Exchange of the Program about 3 Dimension Simulate Motion of Press Mechanism Moves

MAO Bingqiu<sup>1</sup>, LIN Li<sup>2</sup>

(1.School of Mechanical Engineering,Nanjing 211167;2.School of Material Engineering, Nanjing Institute of Technology Nanjing, Nanjing 211167 China)

Abstract: This paper detailedly analyzed and compared the means of interface between AutoCAD and all kinds of high-quality program language. It in detail introduced the technology of developed data exchange between VB and Word ,VB and AutoCAD through the application-program about 3 dimension simulate of press mechanism. It has solved the problem of the data exchange during the software development.

Key words: simulate motion, data exchange, mechanism, interface

- [2] 陈振同,基于改进遗传算法的车间调度问题研究与应用[D].大连:大连理工大学,2007.32-42.
- [3] 张娜,细菌觅食优化算法车间调度问题的研究[D].吉林:吉林大学,2007.4.25-46.
- [4] Mishra, S., A hybrid least square-fuzzy bacteria foraging strategy for harmonic estimation [J], IEEE Trans. Evol. Comput., Vol. 9, No. 1, 61-73, Feb. 2005.
- [5] K.M.Passino, Biomimicry of Bacterial Foraging for Distributed Optimization and Control [R]. IEEE. Control System Magazine, June 2002,pp.52-67.
- [6] 储颖,邵子博.细菌觅食算法在图像压缩中的应用[J].电子光电与信息工程,2008.4:153-157.

Bacterial Foraging Algorithm for Job-Shop Scheduling System

WANG Wenya<sup>1</sup>, TU Haining, XIA Fangchen, MA Zhaobin

(School of Mechanical and Electrical, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Bacterial foraging optimization algorithm is a novel evolutionary computation algorithm proposed in 2002, which is based on the foraging behavior of E.coli bacteria living in human intestine. In this paper, an improved operation, swarming-based search, is presented with regard to the important component of bacterial foraging optimization algorithm. The improved algorithm is applied to job shop scheduling problems and optimizes job shop scheduling greatly.

Key words: bacterial foraging algorithm, swarming, job-shop scheduling, optimize