

基于蜂群遗传算法的一维优化下料问题

吴迪, 李长荣, 宋广军

(齐齐哈尔大学 计算机与控制工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要:针对一维下料优化问题,提出了基于蜂群遗传算法的优化求解方案。具体做法是,以实数表示的各零件长度的一个排列作为一个染色体,其中每个零件的长度作为基因;根据自然界蜂群生物学原理设置了两个种群,一个种群主要用于全局搜索,另一个种群主要用于局部搜索;采用最优个体交叉策略;遗传算子包括联赛选择算子,顺序交叉算子,2-交换变异算子和抑制算子。仿真实验结果表明,该算法逼近理论最优值,而且收敛速度快,较好地解决了一维下料问题。

关键词:一维下料问题;蜂群遗传算法;优化;最优交叉;抑制算子

中图分类号:TP391.72

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)10-0082-04

Bee Swarm Genetic Algorithm for One-Dimensional Cutting Problem

WU Di, LI Chang-rong, SONG Guang-jun

(College of Computer and Control Engineering, Qiqihaer University, Qiqihaer 161006, China)

Abstract: Presents bee swarm genetic algorithm for one-dimensional cutting stock problem. The concrete means is to choose a real valued arrangement of the components lengths as a chromosome, each components length being a gene. According to biology principles of natural bee swarm, there are two populations, one population for global search, and another for local search. Only best one can crossover. The genetic operator includes tournament selection operator, order crossover operator, two-block-exchange mutation operator and restrain operator. The experiments results show that the bee swarm genetic algorithm approaches the theoretical optimal solution, its convergence rate is quick, and is efficient to solve one-dimensional cutting stock problem.

Key words: one-dimensional cutting stock problem; bee swarm genetic algorithm; optimization; best one crossover; restrain operator

0 引言

一维下料问题,即如何根据相同形状的原料切割出不同规格但相同大小的零件,并且使原料消耗最小。该问题在生产实践中十分常见,尤其是制造、建筑、网络等行业对角钢、钢管、网线等一维型材消耗数量巨大。所以,对于NP难的下料问题,高效的一维下料方案对企业降低生产成本、提高效益具有直接的作用。

如果采用传统的人工下料法,不仅效率低下,而且浪费非常大。国内外常见的计算机辅助排料算法,如线性规划法^[1,2]、动态规划方法^[3]会随着原材料和零件的数量增加使问题变得非常复杂而难以求得最优解。应用遗传算法^[4~7]、贪婪算法^[8]、蚁群算法^[9]、粒

子群算法^[10]等优化算法求解下料优化问题时也不可避免出现收敛速度慢,陷入局部极小值,计算时间过长等问题。

而文中根据蜂群遗传算法的原理^[11]求解一维下料问题,蜂群遗传算法不仅可以避免早熟收敛,还提高了收敛速度。通过大量计算机实验表明,此算法实现简单,求解快速,材料利用率高,有很好的实用价值。

1 一维下料问题

在一些行业的实际生产中,经常会遇到以下典型的一维下料问题:给定若干长度一定的原材料 L 进行下料,生产 m 种长度为 l_i ,数量为 d_i 的零件($i=1,2,\dots,n$),应如何下料才能使材料的利用率最大,余料总长最小。即在生产能力许可的条件下,用尽可能少的原料,按时完成需求任务,同时,为了日后余料的充分利用,在余料总长度相同的条件下,应使余料尽量集中在一个原料中,这样可以重复利用余料。

收稿日期:2010-02-01;修回日期:2010-04-25

基金项目:黑龙江省2009年研究生创新科研资金项目(YJSCX2009-102HLJ)

作者简介:吴迪(1980-),男,山东聊城人,讲师,硕士,研究方向为人工智能。

2 求解一维下料问题的蜂群遗传算法

2.1 蜂群遗传算法思想

在自然界中,蜂群由蜂后、雄蜂和工蜂组成。每个蜂群中只有一只蜂后,蜂后也是整个蜂群中唯一具有生殖能力的蜜蜂。蜂后如果死亡,若干潜在蜂后会互相竞争,直到一只胜出成为新一代的蜂后。蜂后会产生两种类型的孩子,一种发育成工蜂,另一种发育成雄蜂。工蜂是没有生育能力的雌蜂,负责照顾、保卫整个蜂群。雄蜂负责交配,交配完毕就死亡了。

根据自然界的蜂群生育原理,文中的蜂群遗传算法的种群由蜂后、雄蜂群和雌蜂群组成,蜂后数量一只,雄蜂群数量为 N 只,雌蜂群数量为 M 只。

2.2 编 码

根据一维下料问题的特点,选择以实数编码表示的各零件长度的一个排列作为一种下料方案,构成了一个染色体,其中的每个零件长度作为基因。这样,每个染色体的长度都是固定的。

初始群体由需求的零件长度随机排列产生,由染色体的基因顺序即可统计出下料方案。例如[2.2, 0.5, 0.3, 1.8, 1.2, 1.2, 0.5, 0.5]就代表一种下料方案(群体中的一个个体),表示需求为 2.2m、1.8m 和 0.3m 零件分别需要 1 个,1.2m 零件需要 2 个,0.5m 零件需要 3 个。

2.3 适应度函数

一维下料问题的优化目标就是使得下料方案的总废料长度最小,要使完全被使用的原料数量尽可能多,而且在余料长度已定的条件下,应使其中一根原料具备最长的余料。换言之,一根原料的利用程度越高,就越应该获得大的奖励。不同原料的利用程度不同,获得的奖励就不同,最后,把所有的原料奖励加起来,就是适应度。为此,文中采用以下方法计算适用度函数:

$$f(x) = \max(\sum_{i=1}^m (\frac{\sum_{j=1}^n d_{ij} l_j}{L} \times \alpha_i)) \quad (1)$$

式中, m 为原料数量; n 为零件的个数; l_j 为第 j 种零件的长度; d_{ij} 为第 i 根原材料第 j 种零件的数量; L 为原材料长; α_i 为第 i 根原料的利用程度奖励系数。

2.4 遗传算子

(1)交叉算子。

雄蜂群按照交叉率和蜂后进行交叉操作,有利于产生新的高适应度的个体。交叉后产生一雄一雌的后代。用雄性后代取代父代,雌性后代临时存放,以便作下一步处理。雄蜂群主要是为了保持较高的选择压力,以提高收敛速度。

交叉算子如果采用经典的单点交叉算子,产生的

新个体有可能出现重复或缺失某些基因,导致该个体不合法。因此交叉算子的设计采用顺序交叉的方案,方法是由蜂后染色体随机选出一个子串,复制到一个空染色体中,形成原始后代,然后雄蜂染色体去掉和子串重复的基因,按顺序从左到右补齐新染色体的空缺位置,这样就得到了一个新的后代染色体。采用顺序交叉可以防止后代染色体出现重复的基因或缺失基因,从根本上保证了该个体的合法性。顺序交叉算子实现过程如图 1 所示。

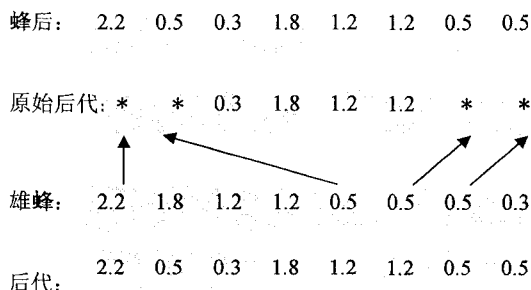


图 1 顺序交叉算子

(2)变异算子。

变异算子的设计采用 k —交换变异的方案,即在每个染色体中以概率 P ,随机选取染色体上的两点,进行 2—交换。文中采用的变异算子皆为 2—交换变异。变异操作实现过程如图 2 所示。

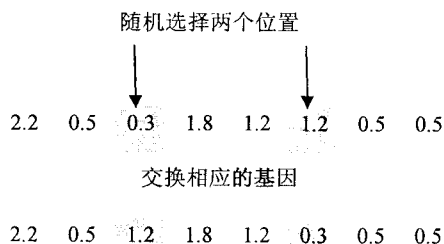


图 2 交换变异算子

(3)选择算子。

雌性蜂群按照联赛选择的方法,把雌性后代和原雌性蜂群进行选择,重组为 M 个个体的蜂群。在这个新的雌性蜂群中,选出适应度最大的个体和蜂后比较,若是适应度高,取代原蜂后,否则,原蜂后不变。联赛选择方法为:两个群体,随机抽取 x (取值为 2) 个体,两两比较,适应度高者保留,直到满足群体规模。

(4)抑制算子。

蜂后为了维持地位,对编码的相似性程度进行相似抑制,抑制阈值为 T 。具体抑制方法是,若是雌蜂群中的个体和蜂后的欧式距离 D 小于等于 T ,那么对该个体实行突变,即以随机个体取代之。

没有被抑制的个体按照适应度来确定其变异率和变异位置。原则是,适应度和蜂后适应度越接近的个

体,其变异率越低,反之,适应度差别越小,变异率越高。雌蜂群主要是为了保持种群的多样性,避免种群早熟收敛,随时可以跳出局部峰值。欧式距离 D 公式如下:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^d (Ab_i - Bb_i)^2} \quad (2)$$

其中参数 d 是染色体的长度, Ab_i 是 A 染色体的第 i 个基因位, Bb_i 是 B 染色体的第 i 个基因位。

2.5 算法流程

综上所述,蜂群遗传算法(bee-swarm genetic algorithm, BSGA)描述为:

Step1:在函数定义域内,随机产生两个群体,雄蜂群和雌蜂群,各有 N 和 M 个个体。

Step 2:在雌蜂群中选出适应度最大的为蜂后。

Step 3:雄性群体经过轮盘选择操作,然后按固定交叉率和蜂后顺序交叉操作,产生一个雄性后代和一个雌性后代。最后是变异操作。

Step 4:雌性蜂群按照联赛选择的方法,把雌性后代和原雌性蜂群进行选择,重组为 M 个个体的蜂群。

Step 5:对这个新的雌性群体,实行蜂后排挤机制。对群体中的个体和蜂后的欧式距离 D 在一定阈值之内的,予以消灭。

Step 6:剩下的雌性个体,按照固定的变异率进行变异操作。

Step 7:若算法条件不满足,转到 Step 3;否则,输出蜂后作为全局最优解。

Step 8:算法结束。

3 仿真实验

用 matlab 编程,雄性种群数目 100,雌性种群数目 100,交叉概率 0.8,变异概率 0.8,迭代次数最大次数 200 次。

算例 1:现需总长度 2104 米,长度分别为 4,6,10,13,14,19,20,21,22,28,32,33,36,38,38,40,41,42,48,48,50,55,57,60,64,66,67,72,76,77,83,84,85,86,91,91,94,94,99,100 米的网线 40 段,求所需每箱长度为 305 米的网线箱数及分割方案(不考虑切口损失)。

表 1 给出了利用文中给出的算法计算得到的优化分割方案,所需网线箱数 7 箱,合计余料 31 米,其中最长的余料 30 米,材料利用率为 98.55%。如果除掉余料最长的那个原料,材料利用率为 99.94%。

算例 2:讨论文献[12]中的例子。原材料长 3m,需切割的零件分别为长 2.2m 的 3 件、长 1.8m 的 3 件、长 1.2m 的 4 件、长 0.5m 的 6 件、长 0.3m 的 6 件。

求最优下料方案(不考虑切口损失)。

文献[12]采用启发式多级序列线性优化方法计算,能保证高的材料利用率,而且计算速度也高。但随着零件规模的扩大,计算时间也会爆炸。而基于蜂群遗传算法的求解方法虽然对同一问题需要多次运行,从多种下料方案中择优,但计算仅用 0.6s 就取得了最好解,而且是求解组合爆炸问题的最好选择。表 2 和表 3 是文献[12]与文中算法的对比。

表 1 BSGA 求解算例 1 的最优下料方案

编号	零件长度/m	数量/个	余料	利用率
1	36 22 6 86 91	64	0	1
2	99 72 84 50		0	1
3	76 66 91 42		30	0.9016
4	67 48 38 94 57		1	0.9967
5	20 83 100 48 10		0	1
	40 4			
6	38 94 77 55 41		0	1
7	32 85 33 14 28 19		0	1
	13 21 60			

表 2 启发式多级序列线性优化方法

编号	零件长度/m	数量/个	余料	利用率
1	18 3 (4)		0	1
2	5 (6)		0	1
3	18 12		0	1
4	18 12		0	1
5	22 3 (2)		2	0.93
6	12 (2)		6	0.90
7	22		8	0.73
8	22		8	0.73

表 3 BSGA 求解算例 2 的最优下料方案

编号	零件长度/m	数量/个	余料	利用率
1	18 12		0	1
2	22 3 5		0	1
3	22 3 5		0	1
4	22 3 5		0	1
5	3 5 5 5 12		0	1
6	12 18		0	1
7	12 18		0	1
8	3 3		24	0.20

表 3 若不计编号 8 的原料,则余下的原料利用率都为 100%。而编号 8 的原料具备最长的余料,还可以进一步利用。计算结果很理想。

算例 3:讨论文献[9]中的例子。对 53 种规格的零件进行一维下料优化,原材料的长度 $L=3000\text{mm}$,在每个切缝处由于锯缝所产生的损耗为 5mm。具体数据见表 4,其中 l_i 为需求零件的长度。每种零件的数量均为 1。

从表 5 可知,文献[9]蚁群算法求解共需原料 14 根,余料总长度为 1355mm,利用率为 94.63%。而由表

6 可知,根据文中提出的蜂群遗传算法共需原材料 14 根,余料总长度 1355mm,但原料利用率更高。除去第 6 根原料外(余料较长,可以重复利用),其余原料的利用率为 98.47%,而且运算速度较快,计算效果较为理想。

表 4 零件需求

<i>i</i>	<i>l_i</i>	<i>i</i>	<i>l_i</i>	<i>i</i>	<i>l_i</i>	<i>i</i>	<i>l_i</i>
1	1743	14	1032	27	714	40	434
2	1680	15	1030	28	690	41	420
3	1532	16	975	29	665	42	415
4	1477	17	893	30	633	43	414
5	1313	18	882	31	630	44	411
6	1285	19	847	32	600	45	405
7	1232	20	845	33	590	46	328
8	1217	21	830	34	588	47	313
9	1180	22	795	35	582	48	290
10	1177	23	766	36	578	49	275
11	1105	24	745	37	540	50	265
12	1055	25	732	38	488	51	255
13	1046	26	719	39	455	52	184
						53	155

表 5 蚁群算法求解

编号	零件长度/mm,数量/个	余料	利用率
1	1532 1232 155	71	0.9763
2	1680 1313	2	0.9993
3	1743 1177	75	0.6417
4	1285 1217 434	54	0.9820
5	1477 766 732	15	0.9950
6	1105 1046 830	9	0.9970
7	1180 1055 420 184	146	0.9513
8	1032 893 630 414	16	0.9947
9	882 845 582 540	136	0.9880
10	745 719 690 578	253	0.9157
11	1030 847 600 415	93	0.9690
12	975 633 411 328 290 275	63	0.9790
13	795 590 488 313 265 255	269	0.9103
14	714 665 588 455 405	153	0.9490

4 结束语

文中针对工程实际中的一维下料问题,提出了求解该类问题的蜂群遗传算法。蜂群遗传算法设计简单,原理易于理解。

实例计算结果证实了文中算法的有效性,而且计算时间较短,同时,原材料的利用率也达到了较高的水平,可以满足生产的需要。将算法扩展并更好地应用,将作为以后的研究方向。

表 6 BSGA 求解算例 3 的最优下料方案

编号	零件长度/mm,数量/个	余料	利用率
1	255 714 434 1532	50	0.9833
2	290 795 893 275 719	8	0.9973
3	1477 184 1285	44	0.9853
4	1105 845 1032	8	0.9973
5	415 766 1030 328 411	30	0.9900
6	1180 1055	760	0.7467
7	1232 1046 690	22	0.9927
8	455 1743 745	47	0.9843
9	600 1313 630 265	177	0.9410
10	882 414 1680	14	0.9953
11	1177 633 540 582	53	0.9823
12	155 405 578 313 590 847	87	0.9710
13	588 488 1217 665	27	0.9910
14	420 830 975 732	28	0.9907

参考文献:

[1] Dyckhoff H. A typology of cutting and packing problems[J]. Euro J of Oper Res,1990,44(2):145-159.

[2] Lee J. In situ column generation for a cutting stock problem [J]. Computers and Operations Research,2007,34(8):2345-2358.

[3] Sarker B R. An optimum solution for one dimensional slitting problems:A dynamic programming approach[J]. J Oper Res Soc,1988,39(8):749-755.

[4] 贾志新,殷国富,胡晓兵,等. 一维下料方案的遗传算法优化[J]. 西安交通大学学报,2002,36(9):967-970.

[5] 张公敬,徐熙君. 遗传算法在无重复规格一维下料优化中的应用[J]. 计算机仿真,2008,25(3):275-277.

[6] 李培勇. 多规格一维型材优化下料[J]. 机械科学与技术,2003,22(21):80-86.

[7] 魏凉良,叶家玮. 一维下料问题的改进自适应遗传算法[J]. 华南理工大学学报,2003,23(6):26-30.

[8] 陈炼,马永生,刘光明. 一维下料方案的贪心算法优化[J]. 南昌大学学报,2005,27(4):35-37.

[9] 吴正佳,张利平,王魁. 蚁群算法在一维下料优化问题中的应用[J]. 机械科学与技术,2008,27(12):1681-1684.

[10] 沈显君,杨进才,应伟勤,等. 一维下料问题的自适应广义粒子群优化求解[J]. 华南理工大学学报,2007,35(9):113-117.

[11] 吴迪,崔荣一. 蜂群遗传算法[C]//中国人工智能学会第11届全国学术年会论文集. 北京:北京邮电大学出版社,2005:733-736.

[12] 王小东,李刚,欧宗瑛. 一维下料优化的一种新算法[J]. 大连理工大学学报,2004,44(3):407-411.