

铁路运输中平车装载问题的模型与算法

井祥鹤^{1,3}, 周献中², 徐延勇³, 陈志伟¹

(1. 南京理工大学自动化系, 南京 210094; 2. 南京大学工程管理学院, 南京 210093; 3. 防空兵指挥学院作战指挥系, 郑州 450052)

摘要: 分析了铁路运输中的平车装载问题, 借鉴了 First Fit 算法的思想, 并引入条件变异算子, 提出了求解平车装载问题的一种改进遗传算法, 给出了该改进遗传算法编码方法、遗传算子改进方案和适应度函数的定义, 该算法能有效地解决初始群体和进化过程中的无效染色体和早熟问题, 并用实例验证了该算法的有效性。

关键词: 平车装载; First Fit 算法; 遗传算法; 条件变异

Model and Algorithm for Pallet Loading Problem in Railway Transportation

JING Xianghe^{1,3}, ZHOU Xianzhong², XU Yanyong³, CHEN Zhiwei¹

(1. Dept. of Automation, Nanjing Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210094; 2. School of Management & Engineering, Nanjing Univ., Nanjing 210093; 3. Department of Campaign and Command, Air Defence Command College, Zhengzhou 450052)

【Abstract】 In military railway transportation, the pallet loading problem is described as loading a set of equipments of different sorts into pallets of some given style. The models and algorithms for pallet loading problem are presented to satisfy different demands. First Fit algorithm and conditional mutation operator are introduced into simple genetic algorithm for obtaining a better solution, and an improved genetic algorithm is proposed for solving a kind of pallet loading problem. In the improved genetic algorithm, the idea of First Fit algorithm and conditional mutation operator is used to improve the ineffective chromosome in the process of evaluation, and the improved selection operator, crossover operator and mutation operator are used to solve the problem of premature convergence of genetic algorithm. The effectiveness of the improved genetic algorithm is convinced through computational results of an example. From the viewpoint of computational results obtained, it is confirmed that the improved genetic algorithm outperforms next fit algorithm, First Fit algorithm, First Fit decreasing algorithm and simple genetic algorithm.

【Key words】 Pallet loading; First Fit algorithm; Genetic algorithm; Conditional mutation

铁路运输具有运量大、速度快、不易受天候、季节影响, 适合远距离移动等优点, 是部队兵力机动采用的机动方式之一。研究铁路运输中的列车装载问题模型与算法, 并运用于相应的军事辅助决策系统, 是适应未来战场、提高指挥效能的客观需要。在铁路运输中, 为了方便武器装备的装载及加固, 一般选用木质底板的铁路平板车进行装运, 有些还会对平板车有专门的要求。在铁路运输中, 装载轮式(履带式)装备可采用顺装、跨装、爬装、横装的方式^[1], 其中在兵力机动特别是在战时兵力机动铁路运输中, 最常采用的是顺装方式, 对于其它的装载方式的采用都有严格的限制。顺装时, 在装备的高度、宽度等参数不超限的情况下, 主要考虑装备长度、装备重量、平车长度、平车载重量、机车牵引力和列车的总长度等参数。因此, 可将平车装载问题描述为一维平车装载问题。本文针对铁路军事运输中轮式(履带式)武器装备的顺装方式建立了数学模型, 并对本模型的求解算法进行了研究。

1 铁路运输中的平车装载问题

就顺装方式而言, 其平车装载问题模型也不尽相同, 通常可以分为如下几种:

(1) 建制优先。在装载时要优先考虑部(分)队建制的完整性, 按照建制单位的顺序进行装载;

(2) 分组优先。有些装备需要相邻装载和装载序列, 事先对装备

进行分组和排序, 保证相邻装载的装备能够相邻, 然后再按照排列顺序进行装载;

(3) 装备优先。在装载时按照装备种类的顺序进行装载, 先将所要装载的装备按照种类进行分组排序, 然后按照排列顺序进行装载;

(4) 平车优先。不考虑装备的装载顺序, 主要考虑如何用最少的平车资源将所有的装备全部装下。

前 3 种情况的平车装载问题, 可视为一维在线装箱问题 (On-line Bin Packing Problem)^[2], 装载方法见文献[2]。

按平车优先装载时, 装载问题可描述为:

设有 n 件装备 b_1, b_2, \dots, b_n 需要装车运输, 已知每个装备在平车上所占的长度为 $l_i (i=1, 2, \dots, n)$, 重量为 w_i , 设有 m 辆平车 P_1, P_2, \dots, P_m 可供使用, 在这里设平车长度相等为 L , 列车长度要求不超过 Len , 机车牵引力为 Q , 下文讨论如何确定装载方案可使装载完这 n 件装备后, 使所用列车的总长度最短。本问题可建模为一维装箱问题 (Bin Packing Problem)^[2], 从计算复杂性理论上讲, 这是一个 NP-Hard 的问题, 目前的求解方法主要是一些近似算法, 如 Next Fit 近似算法、First Fit 近似算法、First Fit Decreasing 近似算法^[2]等。下面借鉴遗传算法 (Genetic

基金项目: 总装“十五”国防科研基金资助项目

作者简介: 井祥鹤(1978—), 男, 博士生, 主研方向: 信息与指挥自动化系统; 周献中, 教授、博导; 徐延勇, 博士; 陈志伟, 博士生
收稿日期: 2005-09-14 **E-mail:** luckycrane@126.com

Algorithm, GA)思想^[3,4]来研究对该问题的求解。求解时先用改进遗传算法求出所有平车的装载方案,然后根据列车的长度限制和机车牵引力限制,再将所用平车依次划分为多列车来输送。

2 求解平车装载问题的改进遗传算法

2.1 染色体编码方法

本文采用的等长度的字符代码编码方法,用各个装备 $b_i(i=1,2,\dots,n)$ 所在的平车的编号顺序来表示该问题的染色体编码^[5]。例如用下式表示一个染色体编码或一个装载方案。

$$C(k) = \underbrace{2 \quad 6 \quad 1 \quad \dots \quad 2 \quad 1}_n$$

其中,将第 b_1 、 b_{n-1} 件装备装载到 P_2 车上,第 b_2 件装备装载到 P_6 车上,第 b_3 、 b_n 件装备装载到第 P_1 车上等。初始群体可以从 $1,2,\dots,m$ 中随机产生 n 个数排列组成。由个体的染色体编码串,统计出某一装载方案用了哪几辆平车,每辆平车上装载了哪些装备。

在初始群体以及在群体的进化过程中,有2种现象不容忽视:(1)染色体所表示的装载方案中,平车序列中会出现某些平车为空的现象,我们的目标是使空平车出现在平车序列的尾部;(2)会出现一些无效的染色体,其所表示的方案,某一平车所装载的装备长度(重量)之和会超过平车的长度(载重量),从而使运算率降低,也会导致得不到好的运算结果。为此,一方面通过2.3节中的条件变异,将染色体表示的空平车换到平车序列的尾部;另一方面借鉴FF近似算法的思想,对无效的染色体进行修正。

设 $c(k)=(g_1, g_2, \dots, g_n)$ 为群体的一个染色体,那么具有FF近似算法思想的染色体修正过程可描述如下:

- (1)统计染色体所表示的方案中每个平车上装备的长度和,依次为 $sl(j)$;
- (2)若 $sl(j) > L_j$,表示 P_j 车上装备超出平车所装载量,转(3),否则结束;
- (3)若 $g_i = g_k = j (i < k)$,那么先判断 P_i 车能否装下 b_i ,若能装下则将 b_i 装载到 P_i 车,否则,再判断 P_2 车能否装下 b_i ,依次类推,直到找到能装下 b_i 的平车为止,如果 P_m 车仍装不下 b_i ,则新取一辆平车加入到平车序列中, $m \leftarrow m+1$,将 b_i 装入 P_m 车中,这样染色体得到了更新,转(1)。

通过上述方法,就可把一个无效的染色体修正为合理的染色体。

2.2 目标函数和适应度函数

在本模型中平车装载问题的目标就是考虑怎样装载才能使所用平车的长度和最小。

设 num 为某一装载方案中所有平车的数量, $P(b_i)$ 为装备 b_i 所装入平车的编号, $len(b_i)$ 为 b_i 装备在平车上所占的长度, $sumlen(P_j)$ 为 P_j 车上装备所占的长度之和。那么 $num \cdot L$ 表示所用平车的总长度,要使所用的平车的长度之和最小,可以取优化目标函数为

$$\begin{aligned} \min f(x) &= num \cdot L - \sum_{j=1}^{num} [L - sumlen(P_j)] \\ &= num \cdot L - \sum_{j=1}^{num} \sum_{P(b_j)=P_j} len(b_j) \end{aligned}$$

本目标函数既考虑了使所有平车长度之和最小,又考虑了使每辆平车装完装备后所剩余的空间尽可能的小。因为对无效染色体进行了修正,所以这里的 $f(X)$ 值始终为非负。

我们直接取适应度函数 $E(X)$ 为

$$E(X) = f(X)$$

个体适应度值越小,则该个体遗传到下一代的概率越大;

反之,遗传到下一代的概率越小。

2.3 遗传算子的选用

基本遗传算法是根据个体适应度与平均适应度的比例,来确定个体的复制比例。当种群的个体的适应度进化到基本相似时,再采用这种选择方式,体现不出个体的竞争力。因此本文对选择算子设计如下:

- (1)将群体中的个体按照适应度从小到大的顺序进行排列;
- (2)将排列在前面的个体复制两份,将排列在中间部分的个体复制一份,排列在后面的个体不复制。

这种方法保证了在进化过程中的每一代中,都能使优良个体被复制到新的种群中去。

在本模型中,本文采用单点交叉的方法:(1)对群体进行随机配对;(2)按照均匀分布随机产生交叉点位置;(3)交换配对染色体之间的部分基因,产生新的群体。

在模型中,采用两次变异的方法为:(1)随机变异点变异;(2)条件变异点变异。

随机变异点变异实行双点变异,其思路如下:(1)按照均匀分布对每一个个体随机产生2个变异点;(2)再对变异点的基因值进行变异操作,产生新的群体。

在装载时,目标是使空车出现在平车序列的尾部,充分利用平车序列前面的平车空间,为了提高进化运算的效率,对基因值变异进行控制,根据通常情况下装备与平车的尺寸关系,取变异值为 $1 \sim n/2$ (n 为装备的数量)的随机整数。

条件变异点变异主要是为了使染色体表示的空平车出现在平车序列的尾部,设 $c(k)=(g_1, g_2, \dots, g_n)$ 为群体的一个染色体,则条件变异的基本思路是:(1)统计出 $c(k)$ 中的最大基因值,并记为 g_{max} ;(2)统计出 $c(k)$ 所表示方案中每个平车上装备的长度和,依次为 $sl(j)$;(3)若 $sl(j) = 0 (j < g_{max})$,表示 P_j 平车为空,转步骤(4),否则结束;(4)若 $g_i = g_{max}$,则让 $g_i \leftarrow j$,这样染色体得到了更新,转步骤(1)。本条件变异的思想是,在染色体表示的方案中,如果在平车序列中的前 g_{max} 辆平车中没有空车,则不进行条件变异操作;如果前 g_{max} 辆平车中有空车,则将序列尾部非空车中的装备依次装前面的空车中,使空车只出现在平车序列的尾部。

2.4 改进型遗传算法主要步骤

根据前面的分析,基于FF算法的改进型遗传算法的主要步骤如下:

- (1)初始化群体 $G(0)$, $t=0$ (t 表示进化代数);
- (2)统计群体 $G(t)$ 中的无效染色体,并利用FF算法将无效染色体修正为合理染色体;
- (3)如果 $t \geq T$ (T 表示遗传运算终止条件),转步骤(4),否则转步骤(10);
- (4)对群体 $G(t)$ 进行个体适应度评价,并对个体按照适应度值从小到大进行排序;
- (5)对群体 $G(t)$ 进行选择操作,排在前面个体的复制2份,中间的复制1份,后面的不复制;
- (6)对个体进行随机配对,随机产生交叉点,对群体 $G(t)$ 进行交叉操作;
- (7)对每个个体产生随机变异点和随机变异值,对群体 $G(t)$ 进行随机变异点变异操作;
- (8)对群体进行条件变异点变异操作;
- (9)得到新一代群体 $G(t+1)$, $G(t) \leftarrow G(t+1)$, $t \leftarrow t+1$,转步骤(2);
- (10)结束遗传运算。

3 应用示例与结果

假设有20件待运装备 b_1, b_2, \dots, b_{20} ,其长度 $l(b_i)$ 、重量 $w(b_i)$,

如下表示：

$$l(b_i) = \begin{cases} 5m & 1 \leq i \leq 7 \\ 7m & 8 \leq i \leq 13 \\ 6m & 14 \leq i \leq 17 \\ 4m & 18 \leq i \leq 20 \end{cases} \quad w(b_i) = \begin{cases} 4.8t & 1 \leq i \leq 7 \\ 8.2t & 8 \leq i \leq 13 \\ 6.7t & 14 \leq i \leq 17 \\ 4.1t & 18 \leq i \leq 20 \end{cases}$$

采用顺装方式，可提供的平板车长度为 12.5m，载重量

为 50t，列车总长要求不超过 400m，机车牵引力为 5 350t，如何使装载所用的平板车总长最短，我们用开发的改进遗传算法程序对上述问题进行求解，取群体规模 M=100，运行了 200 次运算，得到问题的最优解的平均进化代数为 8.34，从运算结果来看，最后符合条件的个体有多个，也就是说有多个最优方案，图 1 列出了其中的部分方案。

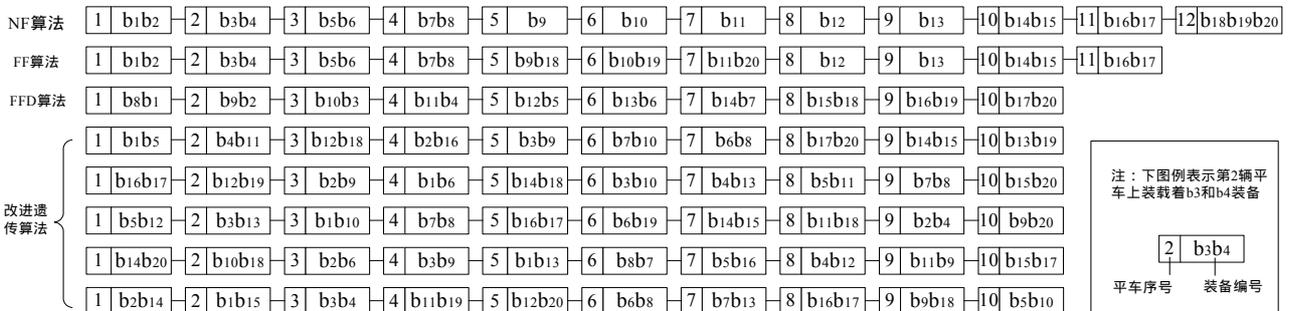


图 1 平车装载方案结果比较

此外，运用基本遗传算法也对上述问题进行运算，结果发现由于早熟问题，群体中的个体都陷于某一极值而停止进化，得不到问题的解。用 NF 算法、FF 算法和 FFD 算法对上述问题求解得到的方案结果列在图 1 中。

本实例的最优方案为使用 10 辆平车进行装载，从图 1 中可以看出，在本例中 FFD 算法和我们的改进遗传算法都得到了最优装载方案，优于 NF 算法和 FF 算法。改进遗传算法的优点是可以解决基本遗传算法中的无效染色体和早熟问题，通过进化运算能很快得到符合条件的装载方案。从进化运算的结果来看，可以同时得到多个符合条件的个体，也就是说可以得到多种装载方案，这样可以为指挥员提供选择的机会，可应用于辅助决策系统的多方案生成中。

FFD 算法在本例中虽然也得到了最优方案，但是它受数据特点的限制，算法的求解与装备、平车的参数数据有较大关系，有时在极端情况下的求解结果很不理想，而且只能给出一种方案，供指挥人员选择的机会少，因此应用范围小于改进遗传算法。

4 结束语

铁路输送中列车装载方案的制定是 C⁴ISR 中兵力机动辅助决策系统的功能之一，本文在分析铁路运输平车装载问题

的基础上，提出了平车装载问题模型，并给出了相应的解法。

求解平车装载问题的改进遗传算法，可解决在进化过程中的无效染色体和早熟问题，并用实验分析说明了算法的有效性。本文主要研究了平车种类相同情况下的装载问题，对于平车种类不同时的装载问题，将作进一步的研究。本文可为一般装箱问题和兵力机动辅助决策系统的开发，提供一定的技术参考。

参考文献

- 1 GJB3008-1997. 铁路军事运输装载加固基本要求[S]. 成都: 西南交通大学出版社, 1997.
- 2 Hochbaum D. Approximation Algorithms for NP-hard Problems[M]. Boston: PWS Publishing, 1996: 46-93.
- 3 Falkenauer E, Delchambre A. A Genetic Algorithm for Bin Packing and Balancing[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, 1992-05:1186-1192.
- 4 Iima H, Yakawa T. A New Design of Genetic Algorithm for Bin Packing[C]. Proc. of Congress on Evolutionary Computation, 2003: 1044-1049.
- 5 周 明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.

(上接第 146 页)

成功所要求的最小符合率将不断降低，译码复杂度也逐步增高，但与文献[1]中算法相比译码复杂度显著降低。

4 结束语

密钥流生成器是为序列密码提供安全保障的关键部分，根据 Walsh 谱能量守恒定理，一般的密钥流生成器的输入与输出序列之间总存在一定相关性，相关攻击正是以序列间的相关性为主要依据进行攻击的。本文对 Chepyzhov 提出的快速相关攻击算法利用卷积码法进行了改进，大幅度降低了 Chepyzhov 算法的复杂度。

参考文献

- 1 Chepyzhov V, Johansson T, Smeets B. A Simple Algorithm for Fast

- Correlation Attacks on Stream Ciphers[C]. Proc. of Fast Software Encryption'00. Springer-Verlag, 2000: 181-195.
- 2 Johansson T, Jonsson F. Improved Fast Correlation Attacks on Stream Ciphers via Convolutional Codes[C]. Proc. of EUROCRYPT'99. Springer-Verlag, 1999: 347-362.
- 3 Meier W, Staffelbach O. Fast Correlation Attacks on Stream Ciphers [C]. Proc. of EUROCRYPT'88. Springer-Verlag, 1988: 301-314.
- 4 Molland H, Mathiassen J, Helleseth T. Improved Fast Correlation Attack Using Low Rate Codes[C]. Proc. of the 9th IMA International Conference on Cryptography and Coding, 2003.