

文章编号: 0258-2724(2010)01-0104-08 DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2010.01.018

放射形专用线取送车模型及算法

牟峰, 王慈光, 左大杰, 张展杰

(西南交通大学交通运输学院, 四川成都 610031)

摘要: 为了解放射形专用线取送作业的合理取送顺序、取送时机和取送次数问题,用定性与定量相结合的方法,建立了取送车模型,设计了求解模型的蚁群遗传算法.模型及其算法适用于求解多种到发车流形式的放射形专用线取送车问题,并可自适应地生成各种取送作业组织方式,实现了取送方案的整体最优,克服了固定取送作业方式的缺陷.算例仿真结果表明,取送次数从传统方法的30次减少到18次,减小了作业车的总车小时消耗.

关键词: 取送车;放射形专用线;蚁群遗传算法;云模型

中图分类号: U292.2 **文献标识码:** A

Model and Algorithm for Taking out and Placing in Wagons in Shunting Operation on Radial Private Lines

MU Feng, WANG Ciguang, ZUO Dajie, ZHANG Zhanjie

(School of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: To find the reasonable sequence, moment, and batch number of taking out and placing in wagons in shunting operation on radial private lines, a model for wagons' taking-out and placing-in operation on radial private lines was built by combining qualitative and quantitative analysis. Then, the methods to construct and compute the solution of the model were elaborated, and an effective ant colony genetic algorithm (ACGA) was designed to search the optimal solution. The model and its algorithm are suitable to solve the problem of taking out and placing in wagons on radial private lines with various kinds of wagon flows, and they can generate adaptive organization modes of taking-out and placing-in operations to achieve a globally optimal operation scheme, which overcomes the shortcomings in the shunting operation using a fixed organization mode. An example simulation shows that the batch number of taking-out and placing-in operations was reduced from 30 to 18, and that the total time that each wagon spends at the station was saved effectively.

Key words: taking out and placing in wagons; radial private line; ACGA; cloud model

放射形专用线是一种常见的专用线布置形式,其特点为各线车辆入线时刻不同,取回站内时刻也不同,并且调机在向某一专用线送(取)完一批车组后必须返回车站,才能再去另一线送(取)车.对于寻求放射形专用线最佳取送车顺序问题,已有研

究成果^[1-5]往往将问题抽象为一类特殊的JSP模型,而对取车和送车作业交叉进行这种更一般的作业方式未见文献论述.文献[1]提出了送车增量和取车增量的概念,并给出送车需要时间和取车需要时间的计算公式,对非直达车流放射形专用线的合

收稿日期: 2009-02-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60776824)

作者简介: 牟峰(1980-),男,博士研究生,研究方向为运输组织优化、交通运输系统工程、组合优化,
E-mail: circleone1980@hotmail.com

通讯作者: 王慈光(1946-),男,教授,博士生导师,研究方向为运输组织优化、交通运输系统工程、统计分析,
E-mail: wangciguang@163.com

理取送车顺序问题建立了数学模型. 文献[2]建立了放射形专用线直达车流取送车顺序模型,该模型将送车作业和取车作业单独考虑,即当所有的送车作业都完成以后,再进行取车作业,将送车顺序和取车顺序作为取送顺序的两个独立部分分别进行优化. 文献[3]以最小化调机的非生产性停留时间作为问题的优化目标,将送车顺序作为研究对象,再根据各专用线中先装卸完毕的车组先取出的假设条件生成取车方案,并为该问题设计了一种带有启发式信息的遗传算法,该启发式信息以车组的装卸时间长短为依据,使装卸时间较长的车组所对应的送车作业以更高的概率优先安排. 文献[4]提出了一种表上作业法,用以寻求小规模情况下放射形专用线直达车流的取送顺序. 文献[6]对放射形专用线布置形式下非直达车流的最佳取送车顺序、取送车时机和取送车次数问题进行了统一抽象.

本文在文献[6]的基础上,对放射形专用线在“送、调、取相结合”情况下的取送车问题进行探索,得出了较一般的放射形专用线取送车问题模型. 该模型对直达和非直达车流取送车问题进行统一抽象,以货车在站停留所产生的总车小时消耗最小为优化目标,将确定合理取送车顺序、取送车时机和取送车次数的问题有机集成为一个系统整体,且将调移作业这一常见的作业组织方式纳入它的处理范围. 为提高求解问题的稳定性,本文采用一种对参数设置较为宽松的算法——基于云模型的参数自适应蚁群遗传算法^[7],实验证明,利用该算法对问题进行寻优,可得到满意的取送车作业方案.

$$f(u) = (f_i(u), f_j(u), f_q(u), f_m(u), f_c(u), f_z(u)) = (i, j, q, m, c, z),$$

其中: i 为到达列车编号;

j 为专用线编号;

q 为作业性质编号, $q=1$ 表示一般送车, $q=2$ 表示一般取车(一次货物作业车)或调移取车(双重货物作业车), $q=3$ 表示调移送车, $q=4$ 表示一般取车;

m 表示该车组所含车辆数;

c 表示车组编号;

z 表示指定车流所属出发列车的编组开始时刻, $z=0$ 表示普通车流;

(2) $s(u)$ 表示作业 u 的取送顺序序号,且有

$$s(u) \in \{1, 2, 3, \dots, P\},$$

其中: P 表示取送作业总数,其中取车和送车各计为一次作业;

1 问题描述

根据取出车流所编入的出发列车形式,可将车流分为随就近列车挂走的车流和明确指定了挂运车次的车流. 为简便起见,称前者为普通车流,其特点为不带时间窗口;称后者为指定车流,其特点为带有时间窗口.

取送车作业中存在一些重要的单项作业因素,例如送车作业包含的挑选车组和对货位,取车作业包含的收集车辆和分解车组. 优化这些单项作业的顺序对取送车系统的组织优化起着重要的作用. 因此,当多趟列车(直达或非直达车流)陆续到站时,取送车系统内部的各作业方式之间的协调优化(如:单送(取)、同送(取)、送取结合,送调取结合)是实现取送作业整体功能的正确途径,而将其评价指标设定为车辆在站的车小时总消耗,可达到压缩停留时间,加速车辆周转的目的.

1.1 设定条件

(1) 先后到达的列车在到解技术作业完毕后,所形成的取送车组具有相同的优先级别;

(2) 各专用线的装卸能力满足入线货车同时进行货物作业的条件,调机对需要取送的车辆数不加限制;

(3) 车站衔接的专用线数量及其往返走行时间已知,一台调机承担取送车作业任务.

1.2 变量描述

(1) 对每一需要进行取送作业的车组依次按升序编号,记为 u ,则每一编号唯一对应一组数对,即

(3) $T_{\text{cargo}}(u)$ 和 $T_{\text{run}}(u)$ 分别表示车组 $f_c(u)$ 所需货物作业时间和该车组去往相应专用线所需的单程走行时间;

(4) $t_{\text{finish}}(u)$ 和 $t_{\text{marshal}}(u)$ 分别表示车组 $f_c(u)$ 货物作业完毕时刻和所挂运列车的编组开始时刻;

(5) $t_{\text{arrive}}(s)$ 和 $t_{\text{back}}(s)$ 分别为调机执行方案中第 s 项取送作业的实际入线(含对货位)时刻和调机完成第 s 项取送作业后,从相应专用线回到站内(含分解完车组)的时刻;

(6) $t_{0,u}$ 表示作业 u 对应车组 $f_c(u)$ 的解体完成时刻; t_k 表示第 k 号出发列车允许的编组开始时刻;

(7) 送车时包含挑选车组和对货位,取车时包含收集车辆和分解车组,其作业时间分别设为定值

T_{00}, T_{01}, T_{10} 和 T_{11} .

1.3 解的表示方法

定义1 同送(取)作业指同时将不同时刻到达且去往同一专用线进行货物作业的多个车组作为一批送至专用线(从专用线取出)的送(取)车作业过程.

同理定义单送(取)作业.

解 $x = \{u \mid s(u) \in S\}$, 其中, S 为作业的取送顺序序号集合. 例如: $x = \{u_1, u_2, \dots, u_p, \dots, u_p\}$, 下标为作业的取送顺序序号, u_p 唯一地对应一个数组, 如 1.2 节中(1)所述.

计算 x 对应的目标函数值, 需要对 x 中的相邻元素进行分析, 判断具体的作业方式(具体方法见 2.2 节), 其形式有“同送过程”、“同取过程”、“连送带取过程”、“单送过程”、“单取过程”.

1.4 数学模型

定义2 如果通过该函数能够判断作业 u 是否为其相应车组 $f_c(u)$ 的最后一项取送作业, 其中送车作业(包括调移送车)和取车(包括调移取车)作业各记为一次作业, 称函数 f_{last} 为车组最终作业判别函数. 该函数的形式为 $f_{last}: u \rightarrow f_{last}(u)$.

当取送作业 u 为车组 $f_c(u)$ 的最后一项取送作业时, 则有 $f_{last}(u) = 0$; 否则, $f_{last}(u) = 1$.

利用如上定义, 将问题模型表述如下:

$$\min F = \sum_{u \in \{u \mid f_{last}(u) = 0, u \in x\}} f_m(u) (t_{marshal}(u) - t_{0,u}),$$

s. t. $s(u) < s(u')$,

$$f_c(u) = f_c(u'), \quad f_q(u) < f_q(u'), \quad (1)$$

$$t_{marshal}(u) = f_z(u),$$

$$f_z(u) \neq 0, \quad f_{last}(u) = 0, \quad (2)$$

其中 u 和 u' 表示两项不同的作业.

约束条件(1)保证同一车组符合先送后取的辩证逻辑关系; 约束条件(2)保证指定车流满足窗口条件.

2 优化目标函数值的计算

2.1 初始解的构造

设 G_{tabu} 为已选择的取送作业的集合, G 为还未选择的取送作业的集合, G_{select} 为下一步允许选择的取送作业的集合. 这样, 每个寻优过程都含有集合 G_{tabu} 、 G 和 G_{select} . 利用蚁群策略或遗传策略的随机搜索机制, 从 G_{select} 中选择一项作业 u , 并将该作业添加至 G_{tabu} 集合中, 同时从 G 和 G_{select} 中删除该作业. 如果 $f_{last}(u) = 1$, 则将 $\{u' \mid f_c(u') = f_c(u), f_q(u') = f_q(u) + 1\}$ 添加至 G_{select} . 重复上面的过程, 至 G 为空时止. 最后, G_{tabu} 集合给出的取送作业序列是一个取送顺序方案 $x_{initial}$, 且 $x_{initial}$ 中的每个元素 u 唯一地对应一个取送顺序序号 s ($s \neq 0$). 该初始解满足 1.4 节中约束条件(1).

2.2 作业组织方式的自适应选取及目标函数值的计算

在流程图 1~3 中, s 表示作业 u 的取送顺序序号, 即 $s(u) = s$.

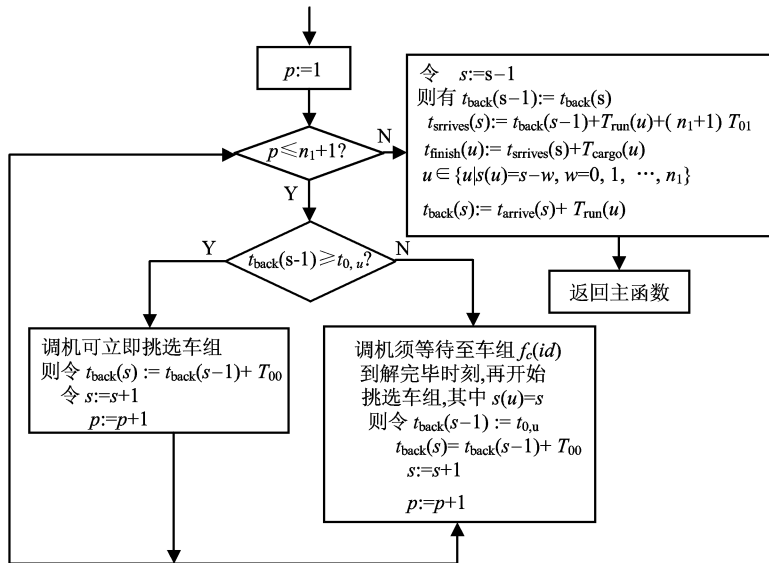


图1 送车函数($f_{deliver}$)的算法流程

Fig. 1 Algorithm flowchart of placing-in function($f_{deliver}$)

为了在某个顺序方案(初始解)基础上,自适应地形成各种作业组织方式,引入送(取)车函数的定义及其算法流程。

定义 3 函数 f_{deliver} (f_{fetch}) 称为送(取)车函数,利用该函数能根据具体情况选取单送或同送(单

取或同取)作业方式,对相关的时间要素进行计算。

送车函数 f_{deliver} 的算法流程如图 1 所示。取车函数 f_{fetch} 与其类似,不再赘述。

放射形专用线取送车问题中存在各种取送作

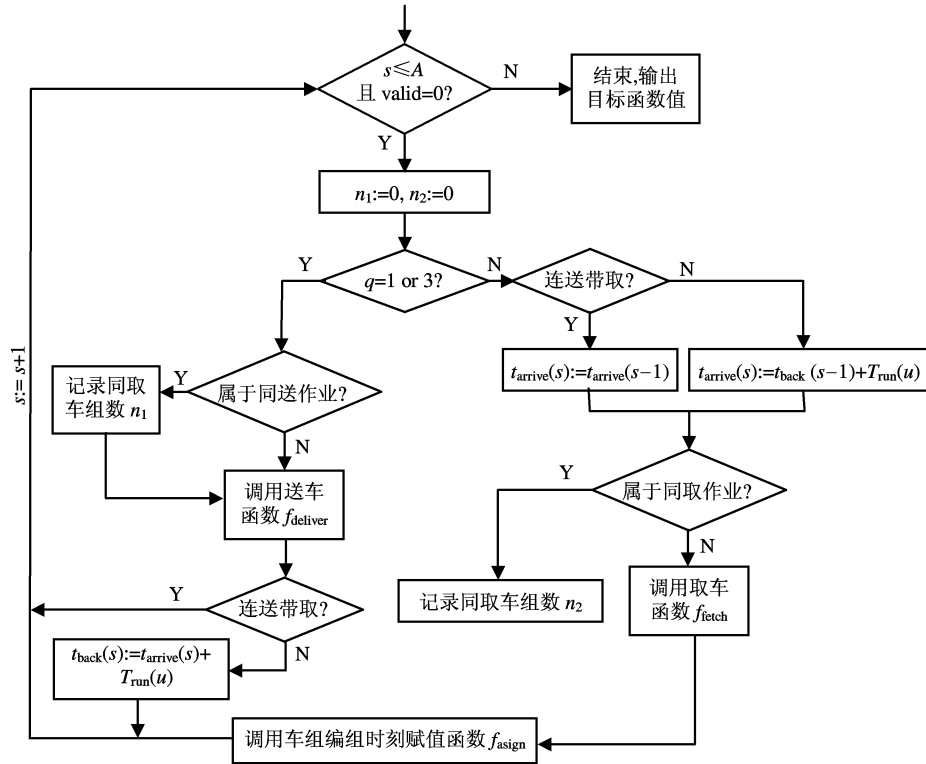


图 2 方案生成函数流程
Fig. 2 Algorithm flowchart of the main function

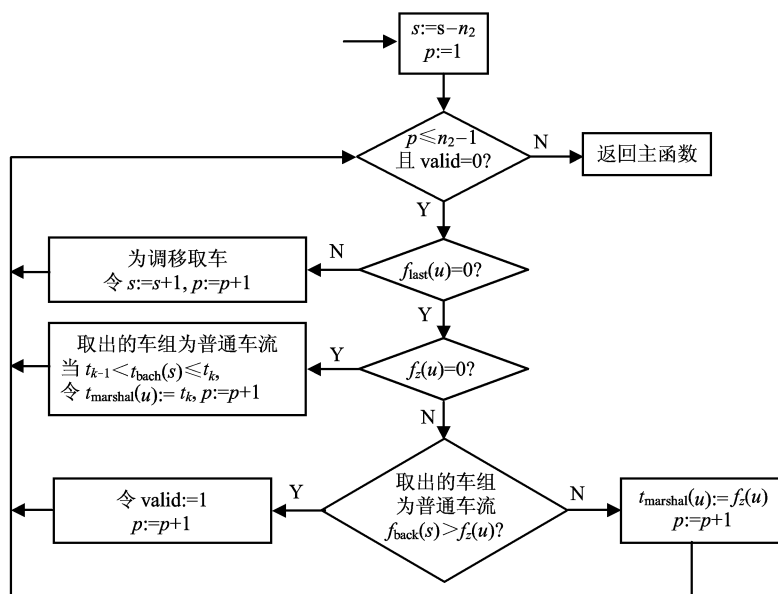


图 3 车组编组时刻赋值函数 (f_{assign}) 流程
Fig. 3 Algorithm flowchart of wagon-group marshaling time assignment function (f_{assign})

业方式,如:单送(取)、同送(取),连送带取,它们均为送车和取车之间的某种组合形式.因此,设计方案生成函数如图2所示,使其在自适应地选择具体取送作业方式的同时,实现对目标函数值的求解.

3 算法及算例仿真

3.1 算法步骤

(1) 产生规模为 b' 的遗传初始种群(方法如2.1节所述).利用2.2节的方法计算出各解的适应度函数值,进而求出其遗传初始种群的平均适应度函数值 $F_{GA}(0)$,并记录最优解 L_{best} ,令

$$g := 0;$$

(2) b 只蚂蚁,根据蚁群策略构造 b 个可行解(方法如2.1节所述).利用2.2节的方法计算出各解的适应度函数值

$$F = \sum_{u \in \{u \mid f_{last}(u) = 0, u \in x\}} f_m(u) (t_{marshal}(u) - t_{0,u}),$$

记录本次迭代最优解 $L_{best}(g)$,若其优于历史最优解 L_{best} ,则令

$$L_{best} := L_{best}(g),$$

全局更新信息素;

(3) 计算并记录蚁群策略本次迭代所得解的平均值 $F_{AC}(g)$ 和适应度改进函数 $\theta(g)$ 值,然后,计算出沟通参数 $C(g)$ 的值,最后选择 $C(g)$ 个蚁群策略所得最好解替换原有本代初始遗传种群中最差的 $C(g)$ 个解,再利用轮盘赌技术进行选择操作;

(4) 根据适应度改进函数 $\theta(g)$ 的值,采用云关联规则自适应控制蚁群策略参数,得到本次迭代的信息素残留系数因子 $\alpha(g)$ 和第 $g+1$ 次迭代的启发式因子 $\gamma(g+1)$,根据 $\alpha(g)$ 的值计算信息素挥发系数 $\rho(g+1)$;

(5) 根据适应度改进函数 $\theta(g)$ 的值,采用云关联规则自适应控制遗传策略参数,得到本次迭代的交叉概率 $P_c(g)$.根据遗传策略对种群进行交叉操作;

(6) 计算遗传种群中各解的适应度函数值,记录本次迭代最优解,将其与历史最优解做比较,若优于历史最优解,则用其替换历史最优解.计算遗传种群的平均适应度 $F_{GA}(g+1)$.根据算法终止条件函数判断算法是否终止,若算法终止,则输出历史最优解 L_{best} ;否则,令

$$g := g + 1,$$

返回(2).

云模型的相关理论见文献[7~14].

3.2 基于编码特点的遗传杂交方法

针对问题解的编码特点,对文献[15]中的交叉操作进行了改进,具体方法如下.

在交叉操作中,采用基于位置的非常规码杂交法.随机选一组杂交位,把一个父代串在这组位置上的元(序号 u) 强加到另一个父代串的不同位置上,其余的元顺序填入其它位置.

例如:随机产生的杂交位置为:2、3、5和8.

父代 A 123456789 → 162435879,

父代 B 462531978 → 423651987.

由于上述变换可能引起某些车组的送、取顺序不满足先送后取的逻辑关系,因此,需对同一车组的取送作业按照作业性质的优先级别 q 进行取送顺序调整,使染色体中各基因满足模型的约束条件(1).

3.3 算例仿真

设某车站有8条专用线,依次对其编号,调机到每条专用线的单程走行时间视为定值,现有到达列车1、2和3,当其到解技术作业完毕后进行取送作业,相关信息见表1.

表1中,到达列车1包含车组1~4,到达列车2包含车组5~9,到达列车3包含车组10~14.出发列车信息见表2.为了简化运算,将挑选车组、对货位、收集车辆和分解车组的时间设为定值,分别为5、4、3、2 min.其中云关联规则中所涉及参数取值为:

$$A(0.600, 0.133, 0.044),$$

$$R(0.990, 0.003, 0.001),$$

$$F(2.000, 0.667, 0.222),$$

$$B(0.700, 0.100, 0.033)$$

和

$$C(0.618, 0.127, 0.042).$$

表1~4中,将一昼夜24 h记为1440 min,例如:12:00表示为时刻720.

算法运行结果见表3和4.表3给出了在初始参数不同的情况下的算法结果.表4给出了一个较好的满意解.

表4中,满意解向量中各元素对应表1中的作业编号,送车开始时刻指开始挑选车组的时刻,取车开始时刻为调机开始向专用线行进的时刻,若为连送带取,则取车开始时刻指送车作业挑选车组作业完毕时刻,由此可知,同送作业所涉及各送车

作业的开始时刻不同.

别表示指定车流 1 和指定车流 2, 0 表示普通车流.

表 1 中,作业性质一栏的取* 和送* 分别表示调移取车和调移送车;车流性质一栏的 z_1 和 z_2 分

表 1 取送车作业信息
Tab.1 Taking-out and placing-in shunting information

指标	作业编号														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
车组编号	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8
车辆数	12	12	9	9	11	11	13	13	13	13	11	11	8	8	7
车组解体完成时刻	720	720	720	720	720	720	720	720	758	758	758	758	758	758	758
专用线编号	8	8	7	7	2	2	6	6	8	8	6	6	1	1	5
调机单程走行时间/min	7.5	7.5	6.0	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	7.5	7.5	7.0	7.0	9.0	9.0	6.0
作业性质	送	取	送	取	送	取	送	取	送	取	送	取	送	取	送
货物作业时间/min	45	45	35	35	43	43	32	32	50	50	35	35	44	44	33
车流性质	z_1	z_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	z_2	z_2	0

指标	作业编号														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
车组编号	8	9	9	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14
车辆数	7	6	6	6	6	12	12	6	6	9	9	11	11	7	7
车组解体完成时刻	758	758	758	758	758	796	796	796	796	796	796	796	796	796	796
专用线编号	5	3	3	4	4	3	3	5	5	2	2	6	6	1	1
调机单程走行时间/min	6.0	5.0	5.0	7.0	7.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	9.0	9.0
作业性质	取	送	取*	送*	取	送	取	送	取	送	取	送	取	送	取
货物作业时间/min	33	18	18	30	30	36	36	29	29	33	33	35	35	38	38
车流性质	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2 出发列车对应的最晚编组时刻
Tab.2 The last marshalling time of departure trains

指标	出发列车编号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
编组最晚时刻	903	992	996	1 128	1 221	1 222	1 278	1 390
编挂车流性质	0	z_1	0	0	z_2	0	0	0

表 3 不同算法参数设置下的算例仿真结果(每一组参数运行 15 次)
Tab.3 Simulation results based on different values of algorithm parameters
(the algorithm was run 15 times for each group of parameters)

试验组号	信息素挥发系数	信息素残留系数因子	启发式因子	杂交概率	蚁群规模	遗传种群规模	最优函数值	平均最优值
1	0.010	0.99	2	0.618	30	38	39 508	40 015
2	0.015	0.99	2	0.618	30	38	39 689	39 496
3	0.015	0.95	2	0.800	30	38	39 121	40 337
4	0.010	0.95	4	0.618	30	38	39 034	39 938
5	0.015	0.95	4	0.618	30	38	39 675	40 181
6	0.015	0.95	4	0.618	40	50	39 616	40 299
7	0.010	0.99	4	0.618	40	50	38 832	40 274
8	0.010	0.99	2	0.800	50	65	38 416	39 208

表4 算例仿真结果
Tab.4 Simulation results

指标	取送顺序编号														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
较好的满意解	3	5	1	9	11	27	7	10	12	8	28	21	6	2	4
取送开始时刻	720	741	763	768	796	801	806	837	857	857	857	887	906	924	944
挂运列车编号								1	1	1	1		3	2	3

指标	取送顺序编号														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
较好的满意解	15	25	26	16	22	23	24	29	13	14	30	17	18	19	20
取送开始时刻	961	982	987	1 042	1 059	1 074	1 079	1 129	1 134	1 139	1 139	1 219	1 224	1 261	1 266
挂运列车编号			4	4	4		6			5	6				8

注:解对应的适应度函数值 $F=38\ 416$ (车·min);取送作业总次数为18次。

4 结论

由表3可知,算法参数不同时,仿真结果差距不大.只有当蚂蚁群体和遗传种群的规模增大时,仿真结果会有略微改进.说明该算法由于采用了参数自适应策略,使其对初始参数的设置不敏感.这一特性减小了因算法参数设置不当造成作业方案质量低劣的可能性,利于推广应用.

由表4可知,以取送顺序编号为观察对象,可以看到其描述的解有如下作业组织形式: $\{3, 4\}$ 和 $\{5, 6, 7\}$ 为两组同送的作业形式; $\{9, 10, 11\}$ 为同取的作业形式; $\{17, 18\}$ 和 $\{21, 22\}$ 为两组送取结合的作业形式; $\{23, 24, 25, 26\}$ 为同送与同取组成的送取结合;而 $\{27, 28, 29, 30\}$ 则是送、调、取相结合的作业组织形式.相对于传统方法,采用对同一车组的送车和取车均产生一次调机在车站与专用线之间的往返走行而言,本文采用了自适应选择取送作业组织方式的策略,使算例中的取送作业往返走行总次数从传统方法的30次^[1-3]减少到18次,因此,提高了调机效率.

与传统的方法相比,本文提出的模型和改进算法解决了3个问题:(1)将调移作业纳入放射形专用线取送车模型的处理范围;(2)模型的处理范围不受限于某种固定的车流到发方式;(3)模型的建立不拘泥于某种固定的取送作业方式.因此,本文考虑的情况更加接近实际,应用范围更广.

参考文献:

[1] 王慈光.放射形专用线非直达车流取送车问题研究[J].交通运输工程与信息学报,2006,4(3):16-23.
WANG Ciguang. Study of collection and delivery shunting of non-through wagon flow on actinoid private line[J]. Journal of Transportation Engineering and

Information, 2006, 4(3): 16-23.

- [2] 杜文,李文权.放射形专用线直达列车取送车问题的算法[J].西南交通大学学报,1995,30(5):503-508.
DU Wen, LI Wenquan. An algorithm for the problem of fetching and delivering vehicles of through-running train on radial individual line[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1995, 30(5): 503-508.
- [3] 王雅琳,李开峰,马杰,等.遗传算法在企业铁路取送调车作业优化中的应用[J].系统工程,2007,25(3):94-99.
WANG Yalin, LI Kaifeng, MA Jie, et al. Application of genetic algorithm to optimal operation for placing-in and taking-out of wagons at enterprise railway[J]. Journal of Systems Engineering, 2007, 25(3): 94-99.
- [4] 宋建业.直达列车多点装卸取送顺序优化的表上移动法[J].兰州铁道学院学报,2002,21(1):76-79.
SONG Jianye. Method for optimization of car-group-sending-and-fetching schedule[J]. Journal of Lanzhou Railway University(Natural Sciences), 2002, 21(1): 76-79.
- [5] 王慈光.运输模型及优化[M].北京:中国铁道出版社,2004:15-21.
- [6] 牟峰,王慈光,杨运贵.放射形专用线非直达车流取送车模型及算法[J].铁道学报,2009,31(3):1-5.
MU Feng, WANG Ciguang, YANG Yungui. Model and algorithm of taking-out and placing-in shunting of non-through wagon flow on actinoid private lines[J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(3): 1-5.
- [7] 李德毅,孟海军,史雪梅.隶属云和隶属云发生器[J].计算机研究与发展,1995,32(6):15-20.
LI Deyi, MENG Haijun, SHI Xuemei. Membership clouds and membership cloud generators[J]. Computer R&D., 1995, 32(6): 15-20.

(下转第123页)