

# 基于动态规划算法的RGV智能调度策略

沃芸婷, 禹一童

(中央财经大学, 北京 102206)

**摘要:** 采用基于旅行商问题(TSP)的动态规划算法,对轨道式引导小车(RGV)的智能调度问题进行研究,构建以RGV运行时间最短为目标函数的调度模型。将模型应用于生产实例,求解得到了单周期下RGV的最优调度路径。基于动态规划算法的RGV智能调度策略能够有效节省RGV调度时间,从而提高智能加工工厂的生产效率。

**关键词:** 旅行商问题; 动态规划算法; 轨道式引导小车; 智能加工工厂

**中图分类号:** TP15      **文献标识码:** A      **文章编号:** 2095-8412 (2018) 06-044-04

**工业技术创新 URL:** <http://www.china-iti.com>      **DOI:** 10.14103/j.issn.2095-8412.2018.06.009

## 引言

轨道式引导小车(Rail-Guided Vehicle, RGV)能够有效提高现代化智能加工工厂的生产效率,目前被广泛应用于车间和自动化立体仓库中。RGV的种类根据分类方式的不同而不同<sup>[1,2]</sup>:按照驱动方式,可分为自驱动式和它驱动式;按照用途,可分为装配性和运送型;按照导引轨道形状,可分为直线轨道式、转轨式和环形轨道式。

目前,国内外学者对RGV调度路径的研究主要基于仓储系统。在国外, Lee et al.<sup>[3]</sup>研究了在基于FCFS的RGV调度策略下,自动化立体仓库中不同数量RGV的系统作业效率; Dotoli et al.<sup>[4]</sup>运用着色赋时Petri网研究了不同调度策略下自动化立体仓库的作业效率; Sáez et al.<sup>[5]</sup>通过提前预测将要产生的任务来有效完成多个RGV调度任务,即先采用模糊分类算法,根据历史数据求出将要产生任务的概率,再使用遗传算法找到合理的RGV调度路径。在国内,杨少华等<sup>[6]</sup>以环形轨道中多个RGV的调度策略为研究对象,利用排队论的思想构建了在不同系统状态下配置RGV数量的模型。吴长庆等<sup>[7]</sup>以自动小车存取系统中的控制问题为研究对象,利用双重着色赋时Petri网构建了多个RGV系统的实时模型,并采用RGV最短路径调度策略确定了系统工作效率。张桂琴等<sup>[8]</sup>介绍了一种避免碰撞的2-RGV直线调度策略。

本文在前述研究基础之上,提出一种兼具运送

和装配功能的RGV小车在直线往复式轨道上进行装配运输的调度问题。

## 1 模型的构造与求解

通过选择合适的调度周期,以RGV调度时间最短为目标,运用基于旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)的动态规划模型得到一个周期内的最优调度路径,并通过实际生产实例验证模型算法的可行性。

上述的TSP是数学领域中的著名问题之一。这个问题是这样的:假设有一个旅行商人要拜访 $n$ 个城市,他必须选择所要走的路径,路径的限制是每个城市只能拜访一次,而且最后要回到原来出发的城市。路径的选择目标是求得的路径长度需为所有路径之中的最小值。TSP是一个典型的组合优化问题,且是一个NP完全难题,即此问题目前尚不能找到一个多项式时间复杂度的算法来求解,应寻求其他解决方案。

### 1.1 问题描述

在生产领域,有限资源的合理配置与优化利用一直是人类社会所面临的最基本问题。其中,作业车间的动态调度与实际生产密切相关,是影响制造业生产效率的重要因素,因此一直备受关注。

如图1所示,假设某加工工厂布局有1辆RGV,1段RGV直线轨道,轨道的一侧贴近上料传送带,另一侧贴近下料传送带。此外, $n$ 台CNC(作业车间中的生产机器)均匀分布在轨道两侧,

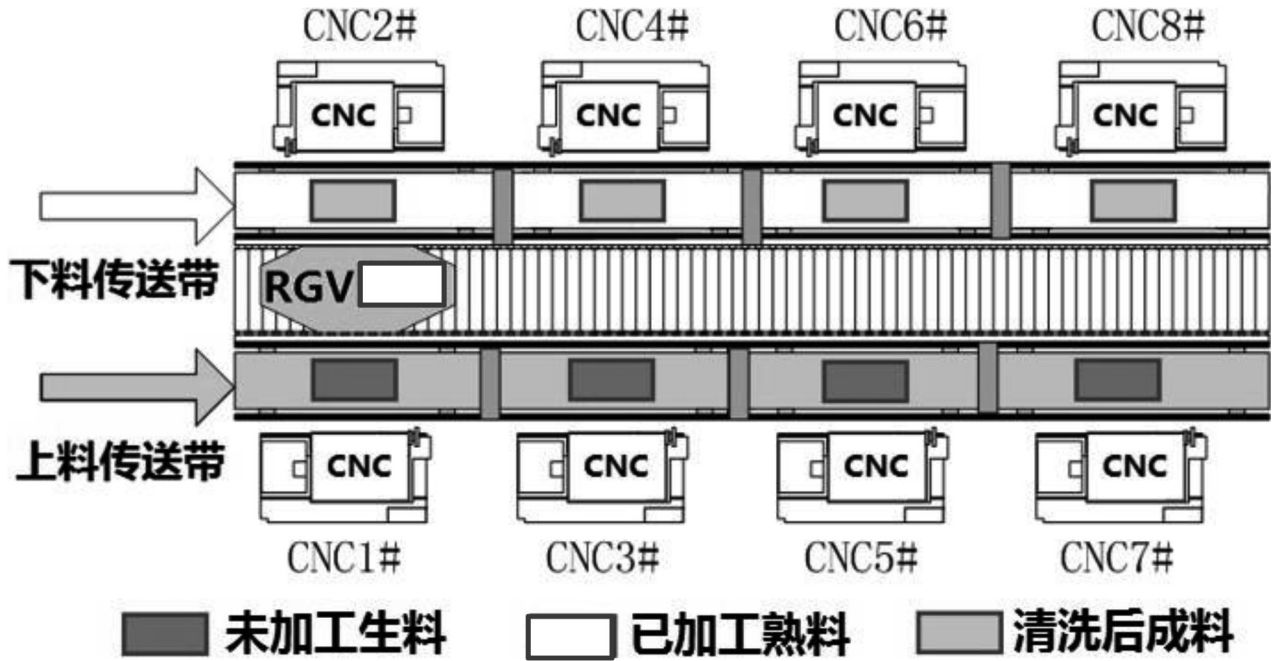


图1 某加工工厂实例图

编号为 $m_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )。

RGV为调度目标, 其完成一次调度包含转移、上下料处理、物料清洗三个作业, 则完成一次调度任务的时间为

$$C_{ij} = a_{ij} + t_{wash} + t_{even/odd} \quad (1)$$

其中,  $a_{ij}$  取自 RGV 运行转移矩阵

$$A_{nn} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, \text{表示RGV从} m_i \text{运送到} m_j \text{所}$$

花费时间, 并记 $a_{ii} = \infty$ 。此外,  $t_{wash}$ 表示RGV清洗物料所用时间,  $t_{even}$ 表示RGV给靠近下料传送带一侧CNC上下料所需时间,  $t_{odd}$ 表示RGV给靠近上料传送带一侧CNC上下料所需时间。

为了尽可能多地利用CNC资源, 对问题作如下定义: 将一次RGV遍历所有CNC并回到初始位置视为一个周期, 即将其视为一种TSP, 并使用动态规划的思想求解该模型, 以一个周期内RGV最短调度时间为目标<sup>[9, 10]</sup>, 得到单周期内的RGV最优调度路径。

## 1.2 模型构造

(1) 阶段 $k$ :  $k$ 表示已经处理的CNC个数 (包括当前正在处理的CNC)。当有 $n$ 台待处理机器时,  $k=1, 2, \dots, n, n+1$ 。 $k=1$ 表示RGV位于起点,  $k=n+1$ 表示RGV完成一轮调度并最终回到起点。

(2) 状态变量 $x_k$ : 定义 $x_k=(m_i, S_k)$ , 其中 $m_i$ 表示当前正在处理的CNC,  $S_k$ 表示尚未处理的机

器集合。 $S_{n+1}=(\Phi, \Phi)$ 表示空集, 且 $x_{n+1}=(1, \Phi)$ 。

(3) 决策变量 $d_k$ : 定义 $d_k=(m_i, m_j)$ , 其中 $m_i$ 表示当前处理的CNC,  $m_j$ 表示下一个处理的CNC。

(4) 状态转移方程: 若当前状态为 $x_k$ , 当采取决策 $d_k=(m_i, m_j)$ 时, 下一步的状态 $x_{k+1}=T(x_k, d_k)=(j, S_k - \{m_j\})$ 。

(5) 阶段指标 $v_k$ :  $v_k(x_k, d_k)=C_{ij}$ 。

(6) 指标函数 $f_k$ :  $f_k=(m_i, S_k)$ , 表示从 $m_i$ 开始处理, 经过 $S_k$ 中每个CNC一次且一次所经历的最短时间。可知 $f_{n+1}=(m_1, \Phi)=0$ 。

## 1.3 模型求解

结合实际生产车间模型, 采用逆序法求解此动态调度策略问题, 步骤如下:

Step1: 以固定终端和固定始端为初始化条件, 即

$$S_1=\{m_1\}=\{m^*_1\} \quad (3)$$

$$f_{n+1}=(m_1, \Phi)=0 \quad (4)$$

Step2: 以逆序的方法从后向前搜索, 依据递归表达式

$$f_k(m_i, S_k)=\min\{C_{ij}+f_{k+1}(m_j, S_{k+1})\}, m_j \in S_{k+1} \quad (5)$$

循环求解, 并存储所得到的后部子过程的最优值函数序列 $f_k(m_i, S_k)$ 和最优决策序列 $d^*_k(m_i, m_j)$ 。

Step3: 迭代递减阶段值 $k$ , 最终输出全过程最优值 $f_1(m_1, S_1)$ 。

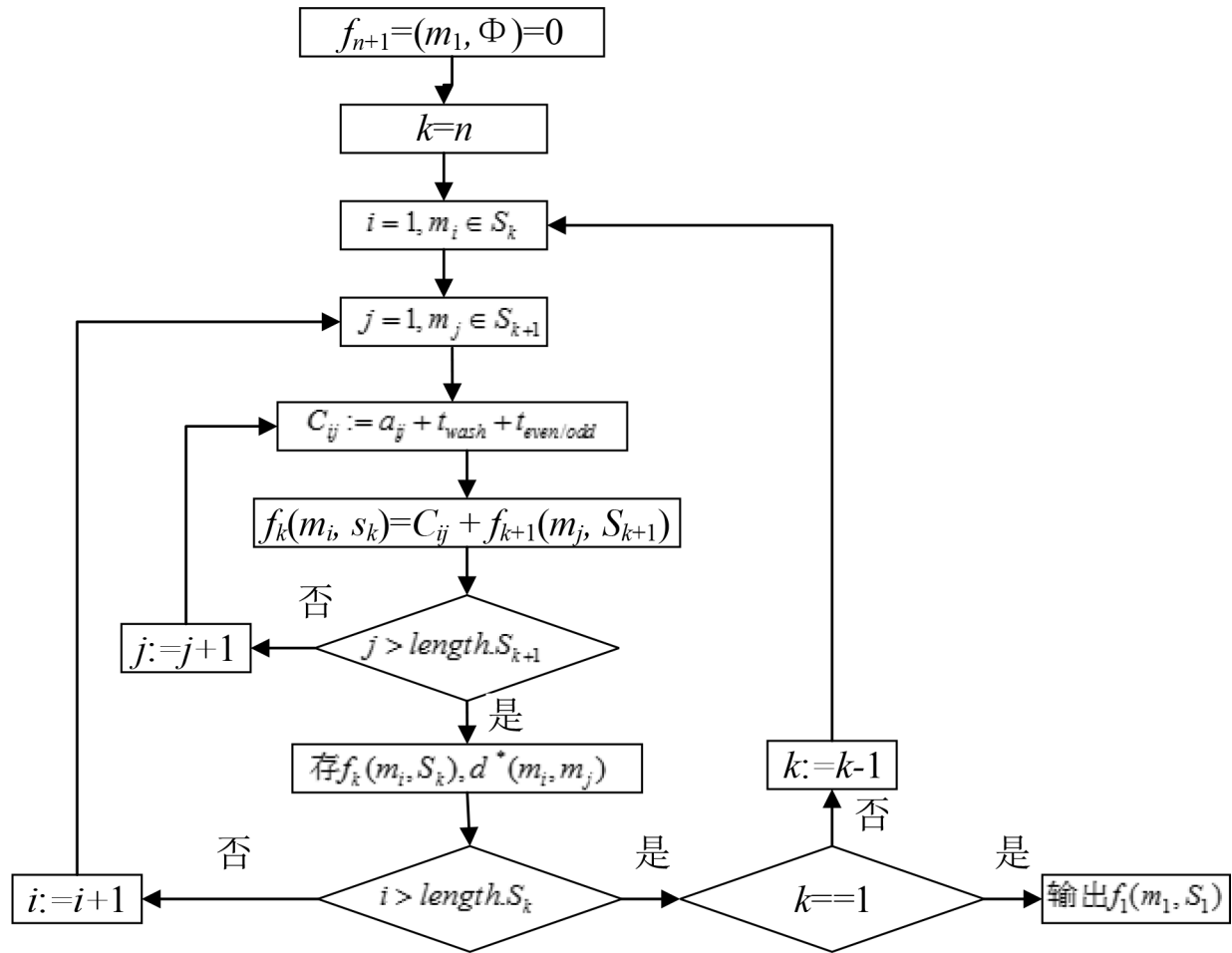


图2 算法流程图

算法流程图如图2所示。

2 应用与讨论

假设某智能加工工厂F设有8台CNC和1台RGV。现需要得到RGV从CNC#1出发再回到CNC#1的调度路径，要求RGV的运行时间最短，且RGV依次遍历8台CNC（同如图1所示）。

智能加工系统作业参数如表1所示。

带入模型求解，得到如表2所示的4条回路。

另以第一组调度路径为例，得到RGV调度时刻

表，如表3所示。结合表1和表2数据可知，在最后的CNC#7加工完成后，RGV回到CNC#1，完成一个周期，此时共用时489 s，小于CNC加工时间560 s。这意味着此模型可扩展为一个多阶段重复模型，即RGV每次从CNC#1开始依据CNC编号遍历，一直到再对CNC#1完成上下料处理工作为止。处理完毕后，RGV在CNC#1位置处等待，直到CNC#1完成物料加工工作后，RGV再对其进行处理。之后，RGV重复进行与上一轮相同的调度流程。

表1 智能加工系统作业参数

作业参数	第1组	第2组	第3组
RGV移动1个单位所需时间/s	20	23	18
RGV移动2个单位所需时间/s	33	41	32
RGV移动3个单位所需时间/s	46	59	46
CNC加工完成一个物料所需时间/s	560	580	545
RGV为CNC#1、#3、#5、#7时一次上下料所需时间/s	28	30	27
RGV为CNC#2、#4、#6、#8时一次上下料所需时间/s	31	35	32
RGV完成一个物料的清洗作业所需时间/s	25	30	25

表2 动态规划求解所得RGV调度路径

RGV调度路径	第一组 $f_i(x_i^*)$	第二组 $f_i(x_i^*)$	第三组 $f_i(x_i^*)$
1→2→3→4→5→6→8→7→1	489	568	484
1→2→4→3→5→6→8→7→1	489	568	484
1→2→3→4→6→5→8→7→1	489	568	484
1→2→4→3→6→6→8→7→1	489	568	484

表3 RGV调度时刻表

加工物料 序号	加工CNC 编号	上料开始 时间/s	下料开始 时间/s
1	1	0	634
2	2	53	687
3	3	129	763
4	4	182	816
5	5	258	892
6	6	311	945
7	7	387	1 021
8	8	443	1 077

### 3 结束语

在现代化生产车间中, 必须处理好负责物料装配和运送的RGV的调度问题。本文基于动态规划算法, 研究了RGV在直线往复式轨道上的周期调度问题, 并通过应用实例验证了模型的可行性。将模型思想应用于智能加工工厂, 将大幅提高生产效率。

### 参考文献

- [1] 许剑梅, 楼冬梅, 王洁芳, 等. 穿梭车在自动化物流系统中的应用[J]. 物流技术与应用, 2009, 14(7): 95-99.
- [2] 于永江, 曲雅楠, 刘俏. 穿梭车系统设计及其在物流系统中的应用[J]. 物流技术与应用, 2007, 12(8): 86-89.
- [3] Lee S G, Souza R D, Ong E K. Simulation modelling of a narrow aisle automated storage and retrieval system (AS/RS) serviced by rail-guided vehicles[J]. Computers in Industry,

1996, 30(3): 241-253.

- [4] Dotoli M, Fanti M P. Modeling of an AS/RS serviced by rail-guided vehicles with colored Petri nets: a control perspective[C]// IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. IEEE, 2003: 162-167.
- [5] Sáez D, Cortés C E, Núñez A. Hybrid adaptive predictive control for the multi-vehicle dynamic pick-up and delivery problem based on genetic algorithms and fuzzy clustering[J]. Computers & Operations Research, 2008, 35(11): 3412-3438.
- [6] 杨少华, 张家毅, 赵立. 基于排队论的环轨多车数量与能力分析[J]. 制造业自动化, 2011, 33(16): 102-104.
- [7] 吴长庆, 罗键, 陈火国, 等. 基于Petri网的RGVs系统中环路死锁研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 250-253.
- [8] 张桂琴, 张仰森. 直线往复式轨道自动导引车智能调度算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(15): 176-178.
- [9] 来学伟. 动态规划法在TSP问题中的应用[J]. 吉林化工学院学报, 2017, 34(3): 65-67.
- [10] 刘永强. 基于遗传算法的RGV动态调度研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.

### 作者简介:

沃芸婷 (1998—), 女, 广东深圳人, 本科在读。研究方向: 计算机应用。

禹一童 (1997—), 通信作者, 男, 山西太原人, 本科在读。研究方向: 计算机应用。

E-mail: limerenceyu@gmail.com

(收稿日期: 2018-10-15)

下转第52页

## Design and Implementation of an Electromagnetic Leakage Alarm Device

CUI Jin-bao, CUI Jian, WU Jin-song, FU Xiao-tian, LI Guo-cheng  
(North China University of Technology, Beijing 100144, China)

**Abstract:** The shielding box cannot meet the requirements of use because of the potential safety hazard of electromagnetic signal leakage in its design and maintenance. An automatic system for real-time monitoring of electromagnetic leakage and adjusting temperature and humidity of chassis is designed. An electromagnetic signal transmitting device is placed in the shielding box, and an electromagnetic signal receiving device is placed outside. The receiving device continuously receives signals and carries out data measurement to determine whether electromagnetic leakage occurs. The receiving device collects data from temperature and humidity sensors, and relays control temperature and humidity in the cabinet. The design method realizes automatic monitoring which integrates monitoring electromagnetic leakage and regulating temperature and humidity. It solves the problems of single function and high monitoring cost of existing devices.

**Key words:** Electromagnetic Leakage; Receiving Device; Temperature and Humidity Monitoring; Automatic Control

---

上接第47页

## RGV Intelligent Scheduling Strategy Based on Dynamic Programming Algorithm

WO Yun-ting, YU Yi-tong  
(Central University of Finance and Economics, Beijing 102206, China)

**Abstract:** A dynamic programming algorithm based on Traveling Salesman Problem (TSP) is used to study the intelligent scheduling problem of the Rail-Guided Vehicle (RGV), to construct a scheduling model with the shortest RGV running time as the objective function. The model is applied to an example of production, and the optimal scheduling path of RGV under single cycle is obtained. The RGV intelligent scheduling strategy based on dynamic programming algorithm can effectively save the RGV scheduling time, thereby improving the production efficiency of intelligent processing factories.

**Key words:** Traveling Salesman Problem (TSP); Dynamic Programming Algorithm; Rail-Guided Vehicle (RGV); Intelligent Processing Factory