

工业互联网系统行车三维路径优化控制

唐 燕

(中国电信股份有限公司湖南分公司,湖南长沙 410011)

【摘要】针对工业互联网平台控制系统行车抓取作业失误率偏高等问题,从系统行车的三维路径优化入手,提出了一种利用集成式激光扫描装置对原料表面进行持续检测的方法,给出了车辆行驶路线的自动规划模型。并在此基础上,通过Shepard内插法实现对原料分配的最优控制,通过蚂蚁群算法求解了最优行驶路线。结合对彩色混合料行车的仿真和模拟实验,证明了该方法能够自动规划及优化彩色混合料行车的行驶路线、抓取作业行为,为实际工业生产提供了作业参考。

【关键词】工业互联网;系统行车;三维;路径规划

【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2023.01.005】

【中图分类号】TP18

【文献标识码】A

【文章编号】2095-7661(2023)01-0020-05

Optimal Control of Driving Three-dimensional Path in Industrial Internet System

TANG Yan

(China Telecom Corp., Ltd., Hu'nan Branch, Changsha, Hunan, China 410011)

Abstract: Aiming at the problem of high error rate of grabbing operation in industrial Internet platform control system, starting with the three-dimensional path optimization of system driving, a method of continuous detection of raw material surface by integrated laser scanning device is proposed, and an automatic planning model of vehicle driving route is given. On this basis, the optimal control of raw material distribution is realized by Shepard interpolation method, and the optimal driving route is solved by ant colony algorithm. Combined with the simulation and simulation experiment of color mixture driving, it is proved that this method can automatically plan and optimize the driving route and grab operation behavior of color mixture driving, which provides specific operation reference for actual industrial production.

Keywords: industrial Internet; systematic driving; three dimensions; path planning

1 研究背景

设备自动化向智能控制过渡,粗放控制向精细控制过渡,符合国家冶金行业的发展战略,也符合企业自身的利益。在有色金属精炼过程中,有许多复杂的氧化还原过程,需要精确、快速地进行原料配比,以提高生产效率、降低能耗。有学者研究讨论了任意干扰下车辆的最优控制问题^[1-2],仿真结果表明这些方法是可行的,为进一步研究提供了基础。本研究在前人研究成果的基础上采用更先进的控制方法,如最优神经网络,作为车辆平稳运行的控制器,从而提出了一种新的车辆最优控制方法。尽管已经获得了关于最优车辆控制技术

的大量理论结果^[3-5],但是在实践中仍然存在许多手动操作,这表明需要改进和优化。

2 行车对象系统优化

本研究将讨论有色金属熔炼过程中的配料体系选择、目标金属的冶炼过程以及物料的规划储存期与生产场地设备选择的关系。虽然设备选择在不同的生产场地可能存在差异,但配料系统的基本工作是一致的,即使用吊车将原料从仓库转移到料斗。随着车辆运动控制系统的发展,第四代控制系统已能够满足彩色混合料的精度、能耗和寿命要求。然而,影响车辆作业质量和效率的关键因素是实时反馈料位信息以及相应的路线优化控

【收稿日期】 2023-02-06

【作者简介】 唐燕(1975—),女,湖南长沙人,通信工程师,学士,研究方向:5G工业互联网技术、智能制造技术。

制。为了解决二维仓库最优排序问题,建立了一个基于车辆起始条件和时间限制的轨道图模型,此外还提出了一种基于网格方法的物料仓库管理新思路,从目标管理和控制的角度构建了多个运输协同控制的数学模型,并进行了大量试验研究,证明了该方法的正确性,为矿井生产管理提供了参考。与普通仓库不同,非有色金属熔炼和混合料的堆垛受到粉末材料本身的性质制约,如安息角和含水率,因此表面材料的分配具有随机性,没有确定的路径。为了精确抓取材料,必须准确掌握料位分配,并制定合理的作业路线。在物料输送过程中,如何准确检测物料分配是控制过程中的关键环节,也是一个巨大的难题。

如图1所示,本研究采用常规的单激光测距探测器,通过在二维云平台上的转动,在平行于车辆轨迹的水平面上形成一个激光扫描装置,实现智

能化的驾驶优化。在与运输路线相平行的扫描轨迹上,设置了一台激光扫描机,用于对距离料斗较远的行车轨迹下面的材料进行扫描。相比于常规的优化方法,该系统在车辆的主横梁中央位置进行实时跟踪,能够对材料的分布进行实时跟踪,无需等待作业完成后进行整体的操作。针对料位变动幅度进行估计,以实现物料分配的局部最优,并降低整个料库的扫描数量,确保系统实时性。为了提高智能化驾驶的效能,提出了一种软硬件相结合的测试方法,即对某一部位的料面高度进行实测,然后通过插补法对剩余部位进行数值运算。采用Shepard内插方法,对扫描点间材料的分配进行了描述。通过扫描轨迹,由激光扫描器测量出反映材料的分布。这就是在有限约束下,求解了一个由反映材料表面转换成约束的矩阵扩充问题。

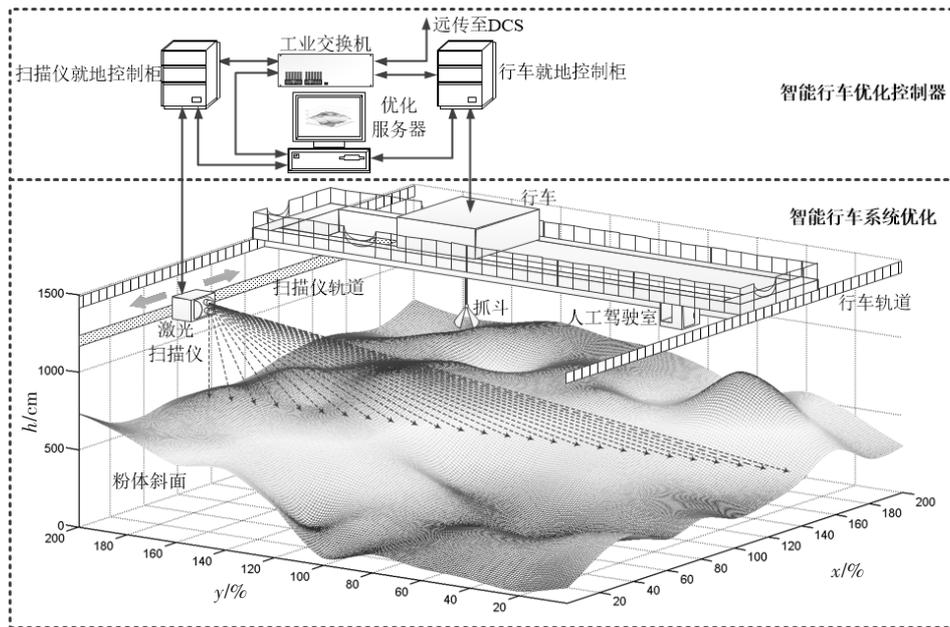


图1 智能行车系统示意图

在图1中,用点箭头表示距离激光,并通过扫描轨迹,由激光扫描器测量出反映材料的分布。该方法可以在一定精确度要求下,通过实测某一部位的料面高度,并进行插补运算,得出整个料库的物料分配情况。

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times f(x_i)}{\sum_{i=1}^n (K_i)^\mu} \quad (1)$$

在所述模型中,所述采样点代表了所述插值点的位置,所述采样位置代表了所述材料表面的所述高度。 P_i 为总权值, K_i 为约束权值, μ 为拟合度系数; n 是预先设定的准确度,也就是说,代表了参

加插值运算的物料平面的采样点数。在这些条件下,通过下列方程得出 P_i :

$$P_i = \frac{\sum_{i,j=1}^n K_i \times \tan(\theta)}{\sum_{i,j=1}^n K_i} \quad (2)$$

在这里, θ 是一个关于点和邻近的直线和 x - y 平面之间的角度。对于粉末材料表面,提出了基于传统Shepard插补的方法,并将其加入到料面斜率因子中。随着坡度的增大,相应的加权系数也相应增大,确保在倾斜角度附近的内插能得到充分的内力,其极限权 K_i 如下:

$$K_i = \begin{cases} \frac{1}{L_i}, & 0 < L_i \leq \frac{R}{3} \\ \frac{27}{4R} \left(\frac{L_i}{R} - 1 \right)^2, & \frac{R}{3} < L_i \leq R \\ 0, & L_i > R \end{cases} \quad (3)$$

在方程式(3)中, L_i 代表了点和它邻近的点的间距, R 代表了一个正交转换的半径。已经观察到高度矩阵大小的增加导致所需内插点的数目减少, 这又导致材料表面的偏差减小。在有色金属熔炼和混合系统的情况下, 起重机可以在下座位置操作, 并且可以利用其自身的重量来移除材料。通过在控制系统中预先设定抓斗的下限, 在没有准确的物料反馈和漏料的情况下, 可以最大限度地优化整个有色配料系统的起重机设备。物料表面监控系统的精度可根据需要进行调整。该项研究所提出的系统能够实现高达0.6 m的精确测量。

3 行车路径优化控制策略及算法改进

任务路径优化是指自动规划物料在料仓中的最佳运行轨迹。在本研究中, 使用三维神经网络(Glasius Bio-inspired Neural Network)技术和二维网格方法来构造三维网格, 从而实现矿山移动体的轨迹优化, 如图2所示。

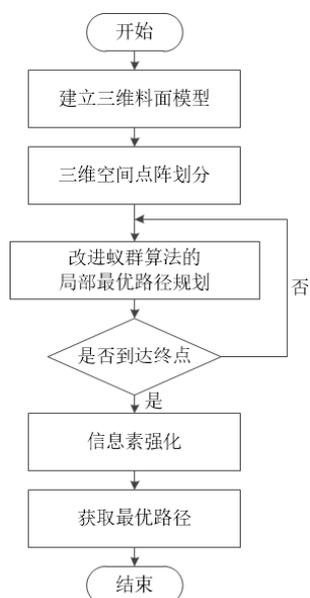


图2 三维路径规划策略流程图

文献[1-3]研究了多工程机械自主路径协调优化问题, 搭建了可视化仿真平台, 对混色系统中智能工程机械的协调规划研究具有一定的参考意义。在文献[1]的基础上, 根据机械臂对象构造了障碍物模型网格和作业区域网格, 并采用遗传算法实现了道路的实际规划, 仿真实验表明, 该算法十分高效, 实际应用与驾驶汽车相似。文献[5]介绍了

一种构造三维环境地图、将复杂的三维地形转化为二维概率图的组合方法, 取得了较好的识别效果, 该方法适用于大面积快速数据分析, 具有实际应用价值。在实际工程中, 正确的路径规划和系统计算速度是保证实验成功的重要因素。

在以上研究基础上, 针对车辆的行驶路线进行测试与运算, 建立了一个立体的物料平面模型。采用三元点阵法进行均匀分段, 在点阵中各点代表一条可能的路径。为了保证各点在 x - y 平面上的投影坐标与所述材料表面所需的高程相一致, 所述点阵处的两个圆点的间距必须为所述材料表面要素的间距的整数倍以上。另外, 采用了一种基于区域的搜索方法, 将 y - h 面分割成若干等尺寸的网状结构, 然后由初始点向 x 方向进行优化, 从而找到下一个子通道的发源地。该方法主要采用了基于蚂蚁算法的搜索策略, 蚁群算法优化搜索策略启发函数为:

$$f(x, y, h) = A \times L(x, y, h)^\alpha \times (\text{abs}(h_b))^\beta \times V(x, y, h) \quad (4)$$

(4)式中 A 、 α 、 β 分别为调节常系数, $L(x, y, h)$ 是指在目前的路径结点和最优化区间中结点的直线长度。在优化区间中, $\text{abs}(h_b)$ 是一个高坐标的绝对数值。利用 $V(x, y, h)$ 来求取最优化区域中的结点和真实的材料表面的位置。这个功能保证了通道总是在物料表面之上, 而不会通过物料表面。在优化结点的高度比料位高的情况下, 将其作为一个实数(这里的数值是1), 若不符合此标准, 将以0表示。接下来是:

$$L(x, y, h) = [(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (h_a - h_b)^2]^{1/2} \quad (5)$$

在(5)中, a 代表目前的路线, b 代表下一地点。分析了蚂蚁进化过程中, 信息素对蚂蚁进化过程的影响, 提出了一种改进方法:

$$\rho(t+1) = D(t) \times \rho(t) \quad (6)$$

$$D(t) = \begin{cases} 1 - \xi \\ \frac{\eta}{\eta_{\max}} \\ \xi \times \frac{\eta}{\eta_{\max}} \end{cases} \quad (7)$$

在(6)(7)式中, 目前的资讯素等级为 $\rho(t)$, 而 $\rho(t+1)$ 为更新资讯素等级, 而 $D(t)$ 为资讯素的衰变因子。这里用一个片段的形式来表达 $D(t)$: 代表从0到1的一个常量。 θ 和 \max 代表了目前的和全部的查找。为进一步降低重复的数量, 以下是最小路线中的信息素级别。

$$\rho(\delta+1) = \left[\left(\xi + \frac{\lambda}{\min(\sum_{m=1}^{\delta} L(x, y, h)_m)} \right) \times \rho(\delta) \right] \quad (8)$$

(8)式中, λ 为常数, $\rho(\delta)$ 为拥有最短路径的粒子 m 的当前信息素, $\rho(\delta+1)$ 为加强后的最短路径信息素。

4 行车系统蚁群优化仿真分析

为了深入研究本课题,本次仿真分析从一间长6米、宽6米的货栈获得了实际的满载产量数

据。研究过程中将范围限定在吊车最高可达15米的范围内,利用15维的激光扫描系统对物体高度进行了测试,并将其应用于200维的平面上,以便进行路径规划和优化。路线的起始点和结束点分别设定为(0120,400)和(200,27,600),路线节点的密度为200×200×200×200。研究过程中将蚁群算法进行了优化,将群体规模设定为300,将迭代次数设定为100次,并将启发因子设定在0.5到2之间。图3和图4展示了仿真效果。

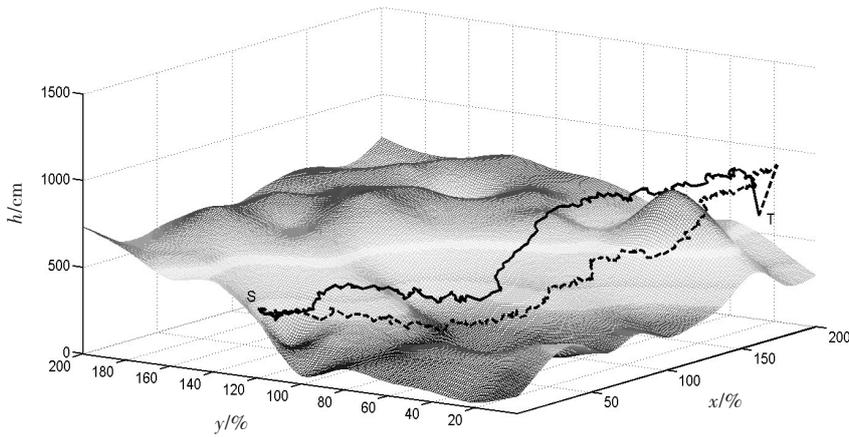


图3 三维路径规划仿真结果图

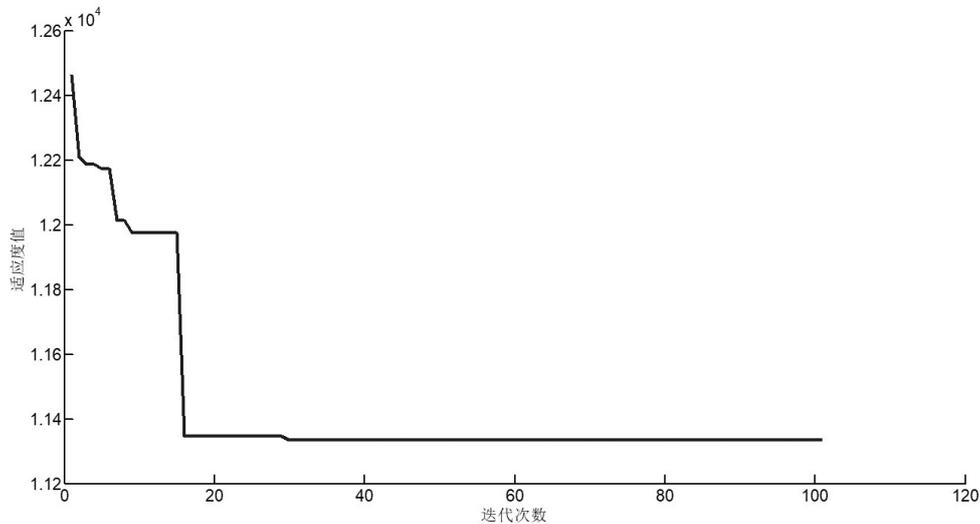


图4 改进蚁群算法适应度变化曲线图

在图3中,S点表示路线计划的起点,T点表示路线计划的终点,虚线表示最佳路线的仿真。实验证明,这种方法可以根据材料表面的波动来实现最小的搜索。尤其是在(160,40,750)处,最优轨迹位于其上方,这说明该方法具有最优策略,并且可以在目标达到固定角度时实现限制条件。在图4

中,展示了进行20次重复后,适应度数值已经趋于稳定,这意味着仍然可以对现有参数进行调整。按照当前的仿真设置,单次最佳化仿真所需时间为608.41秒。将重复数量更改为20次,仿真效果如图5所示。

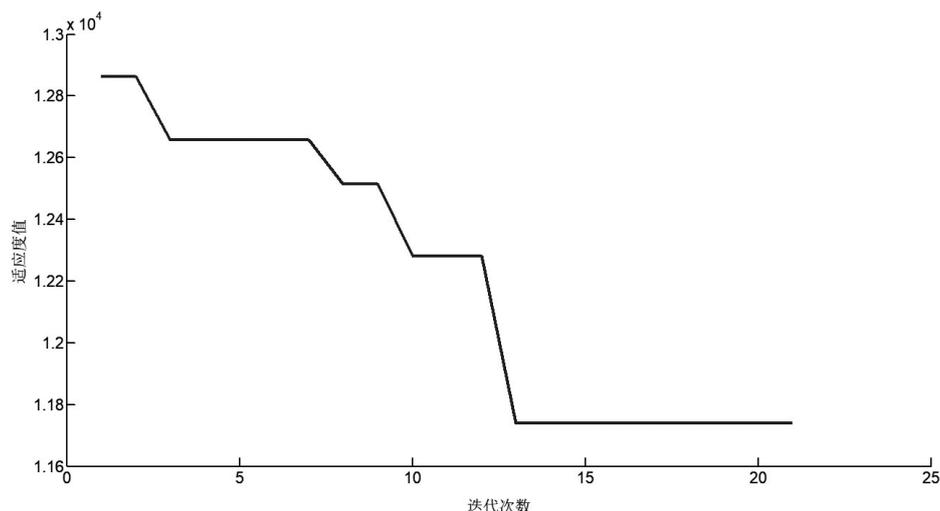


图5 迭代次数优化路径寻优结果对比图

随着测量数据矩阵大小的增加,蚂蚁群算法的次数和迭代次数也会增加,但实时性会下降。在此基础上,对某具体矿区进行了大量试验,并进行了相应优化。图5中虚线表示参数设置下的初始路径规划效果,实线表示20次迭代后的最优解。结果表明,两种设计方案均能有效完成车辆避障路径规划。与模型的初始模拟值相比,该算法的计算结果相似度较低,但仍是接受的。该方法实时性好,计算时间为127.82秒,能满足实际生产需要。

5 结语

本研究基于工业互联网平台技术,针对有色冶金配料智能化吊车抓料效果差的问题,提出并设计了一种快速综合激光扫描仪,用于测量材料表面高度,并利用Shepard插值方法对材料的分布特征进行分析。然后,对吊车进行最优操作,以实现自动轨迹规划。仿真实验证明,该优化方法可以

自动规划有色合金物料输送过程中吊车的轨迹,为实际生产提供了有益参考。

【参考文献】

- [1]白文杰,贾新春,吕腾.改进麻雀搜索算法在三维路径规划中的应用[J].控制工程,2022(10):1800-1809.
- [2]Wu Qingxiang, Wang Xiaokai, Hua Lin, etc. Dynamic analysis and Time Optimal Anti-Swing Control of Double Pendulum Bridge Crane with Distributed Mass Beams[J]. Mechanical System and Signal Processing, 2020(10): 111-130.
- [3]陈铁军.铝冶炼多功能天车的大修及改造分析[J].有色设备,2020(1):53-56.
- [4]尹妹吃,毛剑琳,李斌.基于改进帝国竞争算法的AUV三维路径规划[J].电子测量技术,2022(10):74-81.
- [5]周炳海,廖秀梅.基于轨迹映射模型的天车多目标调度方法[J].湖南大学学报(自然科学版),2019(4): 10-16.