



# 自动抓斗卸船三维激光扫描系统的应用

何 琼, 杨 晟

(武汉软件工程职业学院 电子与电气工程系, 湖北 武汉 430205)

**摘 要:** 文章介绍了三维激光扫描系统在自动卸船机中的应用, 分析三维激光扫描系统的工作流程, 提出了激光扫描仪安装方案。在激光扫描后, PLC 获取了料堆的三维外形, 自动控制抓斗的抓取点和抓起深度, 使卸船机在一个循环过程内运行过程得到了优化。

**关键词:** 抓斗卸船机; 三维激光扫描系统; PLC

中图分类号: U674

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2011) 05-0094-04

## 一、引言

抓斗卸船机是一种断续的散货卸船设备, 用于将散料货物从船舱转运至带式输送机的卸船作业。为了适应装载量不断增加的趋势, 提高港口作业效率和通过能力, 目前国内、外已有很多科研院校和港口企业进行了提高卸船机自动化控制功能的相关研究开发工作, 取得了许多先进的成果, 并已试验于港口作业<sup>[1]</sup>。

## 二、自动卸船控制系统的简介

卸船机在卸载物料时, 抓斗通过起升机构的升降从船舱中抓取物料, 经过小车沿臂架的运行, 将物料卸载在带式输送机上方的漏斗中, 实现将物料从船舱转运至带式输送机的循环工作。一般采取定船移机作业方式, 卸船过程中通过大车沿轨道行走, 小车沿臂架的前后行走, 实现对整个船舱范围内料堆物料的抓取。

卸船机各机构的动作和管理由传动与控制系统完成<sup>[2]</sup>, 主要由 PC 机、可编程控制器 (PLC)、激光扫描仪、变频器、旋转编码器、电机及各种低压电气等构成, 其网络结构示意图如图 1 所示。

图 1 中的三维成像站用 C++ 编制激光扫描处理软件, 通过网线控制激光扫描仪动作, 并读取数据。再通过网线连接上位机中的组态软件, 利用组态软件的数据包与 PLC 进行数据交换。PLC 根据激光扫描获得的

三维位置坐标数据, 获取了料堆的三维外形, 结合最佳卸船路径及安全策略, 控制抓斗运行到相应点, 自动选择抓斗抓取点及抓取深度, 实现自动卸船。

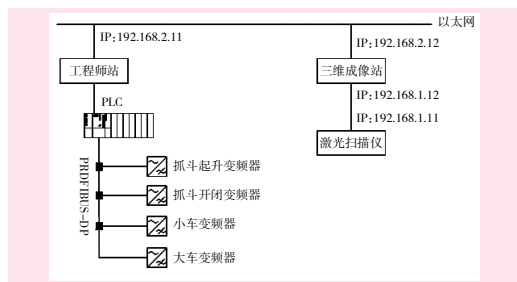


图 1 网络结构示意图

## 三、三维激光扫描系统的工作流程

激光扫描技术是三维扫描技术之一, 具有精度高、速度快及测量数据大等优点, 能无接触完成复杂物体的点、线、面的三维测量, 以激光作测量媒介, 不会引起物体表面的变形和损伤<sup>[3]</sup>。近年来, 激光扫描技术的成本逐渐降低, 人们已经可以快速高效获取料堆的高精度三维数据, 并利用这些数据, 重建具有准确几何信息真实感的三维模型<sup>[4][5]</sup>。

卸船机三维激光扫描系统(本文中简称 3D 系统)由三维成像站和激光扫描仪构成, 激光扫描仪安装在横臂下方, 激光扫描面与导轨方向平行, 且垂直于底面。

收稿日期: 2011-08-18

作者简介: 何琼(1970-), 女, 湖北武汉人, 武汉软件工程职业学院电子与电气工程系副教授, 研究方向: 控制技术和光机电一体化技术; 杨晟(1971-), 男, 湖北武汉人, 武汉软件工程职业学院电子与电气工程系工程师, 研究方向: 激光应用技术。

激光扫描仪与抓斗间距保持固定。整个工作过程可以概括为全局一次扫描与行扫描相结合,初始全局扫描获取料堆初始状态,后续表面变化情况更新采用局部行扫描完成。行扫描需要抓斗沿主梁运动来带动激光扫描仪工作,而全局扫描还需要主梁沿大车轨道配合运动。

第一步,对整个料堆进行扫描,建立初始料堆结构。第二步,每次取料后立刻对局部区域进行更新,立刻计算当前行的抓取位置。根据抓斗张开尺寸进行,确定当前行方向搜索区间;然后在搜索区间内进行遍历扫描,对每一个扫描位置进行综合评估;计算出当前位置的抓取效率估计值;将效率最高的一个位置输出作为当前料斗将要进行取料的位置点。第三步,在抓取之后对局部结构扫描重建,计算当前位置的变化情况,评估抓取量,并估计当前行的剩余厚度。如果小于  $1/3$  总

平均厚度,则跳转处理下一行;否则跳转到第二步继续。

#### (一) 时序关系

3D 系统在若干关键点处需要循环等待上位机返回的状态,并由此来启停响应工作步骤,而上位机完全自主运行不受 3D 系统影响。

如 2 图所示,上一行为上位机工作时序,下一行代表 3D 系统的几个关键工作时序。这几个关键工作起止点均受控于上位机状态变量。去程激光扫描开始于小车去程开始,终止于小车去程结束;而回程扫描则开始于小车回程开始,终止于回程结束;回程结束后同时启动 3D 计算,并写入大小车下次取料的计算位置,这个过程要在卸料结束之前完成,从而保证卸料结束时上位机能够获取得到大小车的指令位置。

#### (二) 关键变量说明

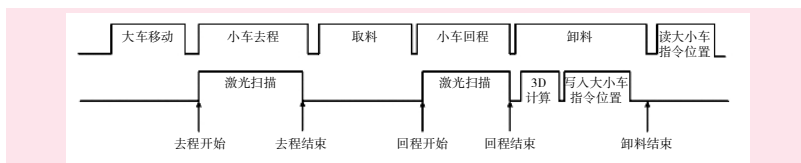


图 2 作时序图

系统的同步关系通过若干变量来实现,上位机及 3D 系统分别维护部分状态变量,3D 系统通过读取状态变量来控制自身启动下一步动作或者等待状态变化之后再启动下一步动作。

在 3D 系统工作流程中设定每一次读取关键状态,若未满足条件则需要原地循环等待直到满足条件为止。而上位机流程中除了控制大小车运行是否入位之外,不需要任何等待操作。这样 3D 系统被动运行不会干扰上位机工作,可以有效避免死机的发生。同时约定在每次读取关键状态时,设置最大等待时间,如果超时则认为死机,跳出流程等待重新开始。

#### (1) 系统控制 / 状态变量

3D 系统具有三个状态:复位,标定,工作。

复位:其中上位机复位指令发出(将该变量值修改为 1)后,3D 系统检测到该指令后,立刻写入 10 到 3D 系统状态变量中,用于通知上位机已经收到该指令,正在进行初始化工作。待进入等待状态后,则写 11 到 3D 系统状态变量中表示已经复位完成可以响应下一步指令。标定:与工作流程基本一致,只不过上位机不需要进行抓斗的动作而已。

#### (2) 大 / 小车指令位置、测量位置

大小车指令位置为 3D 系统根据扫描结果计算出下一步大小车的位置。由 3D 系统负责维护,上位机只需要在卸料完成后读取该变量即可。大小车测量位置为上位机根据当前旋转编码器输出得到的大小车的实时位置信息,由上位机负责维护,3D 系统则在激光扫描时根据需要读取。

#### (3) 行程状态

主要反映小车启停信息,由上位机负责维护。3D 系统根据该变量信息来确定是否启停激光扫描。数值为 0 表示无效,为 11 表示去程开始,12 表示去程结束,

21 表示回程开始,22 表示回程结束。

### 四、激光扫描仪安装方案的设计

#### (一) 总体结构图

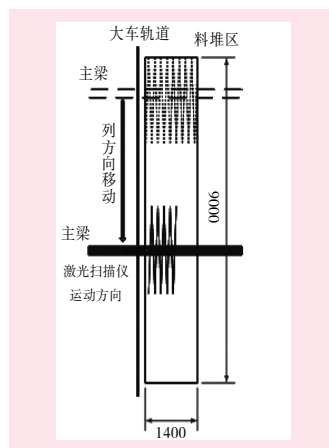


图 3 总体顶视图

试验设计料堆区域长宽分别为 9000mm、1400mm,如图 3 所示为料堆的总体顶视图。横臂方向为行方向,大车轨道方向为列方向。通过激光扫描仪沿横臂方向移动,实现对当堆料区的前行段进行表面测量;再通过横臂沿大车轨道方向运动实现对不同行段进行扫描,从而实现对整个料堆进行测量。在导轨及横臂电机配备有高精度编码器,基本上能够满足扫描过程的需要,对系统并没有额外的要求。

#### (二) 激光扫描仪安装位置

激光扫描仪安装在横臂下方,激光扫描面与导轨方向平行,且垂直于底面。激光扫描仪与抓斗间距保持固定,且为堆料区宽度。按照抓斗进入堆料区的时间顺序,依次描述为激光扫描仪刚进入堆料区,抓斗位于落

料斗中心上方所示;激光扫描仪正在进行扫描,而抓斗还未进入堆料区;激光扫描仪扫描完毕,抓斗进入堆料区(如图4所示);抓斗对应堆料区最右边时,激光扫描仪对横臂的最右端(这个状态不一定出现,极端情况下抓斗需要抓取最右端料时可能出现)。该方式的优点在于仅仅通过加长横臂长度,并固定抓斗与激光扫描仪的距离,抓斗移动过程中即可以完成对堆料区的扫描,不需要额外的扫描时间,整个过程时间最短。在抓斗进入堆料区时,激光扫描仪已经完成一次行方向扫描动作。抓斗离开堆料区时,又可以完成一次扫描动作,抓斗返回过程可以实现两次扫描,从而提高扫描精度和可靠性。

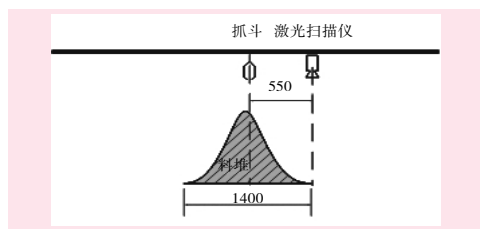


图4 激光扫描料堆示意图

### (三) 地形恢复精度分析

激光扫描仪在行方向推进速度取决于小车电机,按照额定9m/min的设计,即150mm/s,而激光扫描仪在一秒钟实现25次往返扫描,因此一次单程扫描对应的位移量大约是3mm,精度已经足够高。小车电机运动测量精度大约为0.03mm/脉冲,为单程扫描位移量的100倍,完全可以为定位做支持。若以3mm为恢复地形的行方向分辨率,如图5所示,那么料堆宽度1400mm将对应 $1400/3=466$ 列,数据量也不大,实时计算没有问题。

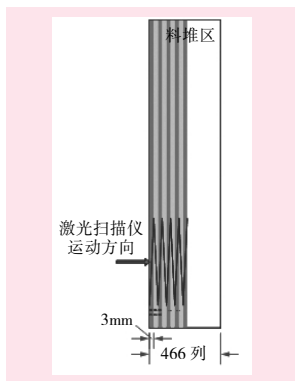


图5 激光扫描仪行方向扫描分辨率示意图

在列方向,激光扫描仪张角设计为 $50.4^\circ$ ,张角方向与列方向平行,分辨率为 $0.25^\circ$ ,每秒钟扫描25帧。距离底面高1600mm,料堆最大高900mm。因此在行方向上一次扫描大约覆盖了1400mm宽的区域,因此总长为9000mm,大约需要6次扫描才能完成对整个料堆区域的完整扫描。图6为列方向扫描仪扫描范围示意图。从图6可以看出,同样的扫描分辨率角度对于正下方 $0.25^\circ$ 对应7.8mm,而在两端则大约对应9.5mm。角度越大,对应的误差也就越大,因此,本方案折衷选择 $50.4^\circ$ 张角,如图5所示,平均精度8mm。显然,在列方

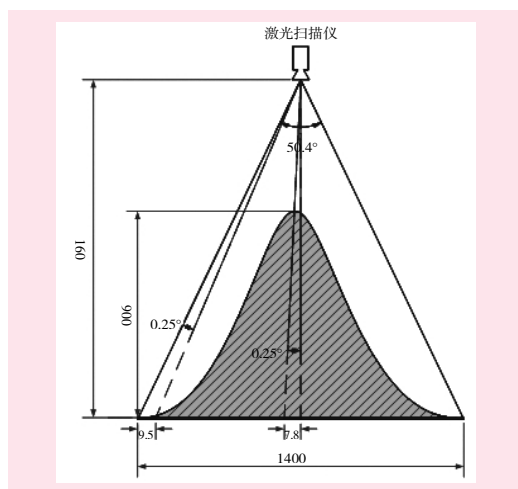


图6 列方向扫描仪扫描范围示意图

向受限制于激光扫描仪扫描步长,分辨率没有行方向分辨率高,但是平均8mm左右的分辨率对于表面分析目的也足够了。

在平均步长为8mm的情况下,列方向大约有 $9000/8=1125$ 个采样点。因此,整个堆料区扫描建模规模大约为 $1125 \times 466$ 个采样点。

需要额外说明的是,由于料堆隆起区域可能会对激光造成遮挡导致周边低洼区域无法测量到数据。设计通过软件程序来自动控制扫描仪张角,提高扫描次数(大于6次),尽可能减少扫描死角,因此可能会带来扫描次数上的变化,但是三维表面模型规模并无变化。

### (四) 地形恢复时间分析

对料堆的初始外形重建扫描需要至少6次行扫描才能完成。每个单程的时间按照9m/min的横臂移动速度来计算,那么扫描过程需要 $6 \times 1400/150 = 56s$ ,加上电机在导轨方向的移动花费,共计需要大约99s。扫描轨迹采用之字形往返。

此后每次抓斗抓取之后的表面测量与抓斗的运动是同步进行的,扫描的时间花费与抓斗小车的移动时间等同,没有额外的时间损耗。

## 五、实践仿真

在抓斗卸船机自动卸船控制系统中,PLC是其控制核心,其中PLC类型选用的西门子S7-300PLC。PLC配套的程序有三部分:激光扫描系统控制数据部分的程序,动作状态反馈信息、激光扫描仪的实时坐标参数,作为计算参考依据;扫描部分的程序,PLC根据激光扫描系统的指令驱动激光扫描仪到达指定位置,以便扫描整个物料的形状;自动定位抓取物料的程序,PLC根据激光扫描系统给出的三维坐标数据,控制抓斗运行到相应位置,并自动完成抓料、回退、抛料动作,然后再根据获得的三维坐标数据,控制抓斗运行到相应位置,如图7为运行到最佳抓取点时激光成像系统的扫描示意图,其中白色区域是抓取目标点,红色方框为抓斗外形。如此往复,完成全部自动卸船作业。

## 六、结语



传统的手动卸船方式下,大、小车的移动、抓斗的开闭升降等完全由卸船司机操作,劳动强度大,卸船效率较低。自动抓斗卸船激光扫描系统的使用,实现了抓取点的自动选择,优化了卸船过程。在码头实际应用中,对操作司机的劳动强度的降低及卸船作业效率的提高有显著的作用。

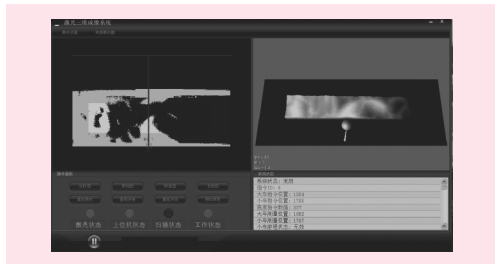


图7 激光成像扫描示意图

#### 参考文献:

- [1] 上海市科委产学研项目《现代港口散货装备集成技术开发与研制》课题组.《现代港口散货装备集成技术开发与研制》技术总报告[R].上海:上海国际港务(集团)股份有限公司,纲纪重工,ABB(中国),上海交通大学,2008.
- [2] 马昕霞,宋明中,蔡方伟,等.基于PLC抓斗式卸船机控制系统[J].电气自动化,2007,29(3):169-173.
- [3] 陈建辉.卸船机用散货三维成像系统设计及实现[D].上海:上海大学,2008.
- [4] 徐进军,张民伟.地面3维激光扫描仪:现状与发展[J].测绘通报,2007(1):47-50.
- [5] 孙德鸿,王占超.三维激光扫描技术在地形纸质测量中的应用[J].水利水电施工,2011,(1):76-80.

[责任编辑:詹华西]

## Application of 3D Laser Scanning System in Automatic Grabbing of Ship Unloader

HE Qiong, YANG Sheng

(Wuhan Vocational College of Software and Engineering, Wuhan 430205, China)

**Abstract:** The article introduces the application of 3D laser scanning system in automatic ship unloader. It analyzes the working process of the system and puts forward the installation plan of the laser scanner. By the laser scanning, PLC captures the 3D shape of the material, the grabbing points and depth and thus the whole work process of the unloader in the circulation is optimized.

**Key words:** grabbing ship unloader; 3D laser scanning system; PLC

(上接第93页)

过计算和观察可以知道轮齿在齿根和齿顶区域磨损最大,齿轮磨损取决于材料的硬度和强度,结果显示齿轮的磨损是连续的,我们了解到在齿轮啮合过程中,轮齿上的各点磨损为何不同,通过建模所计算出的磨损深度与实验结果基本一致。

#### 参考文献:

- [1] 缪炯.粉末冶金齿轮[J].现代零部件,2005,(10):68-72.
- [2] Francis Hanejko.粉末冶金齿轮材料进展[J].粉末冶金工

业,2010,(3):40-46.

- [3] 周玉山 邵明.粉末冶金齿轮模具成形磨齿砂轮的廓形计算方法[J].机械工程学报,2005,1:162-165.
- [4] 闫存富,等.齿轮磨损失效形式的研究及改进[J].广西轻工业,2010,(7):45-46.
- [5] 操育丰.减小齿轮磨损与胶合的措施[J].现代冶金,2009,(1):59-61.

[责任编辑: ]

## Analysis of Tooth Wear of Powder Metallurgical Gear during Dry Running

TU Jie

(Nanjing College of Chemical Technology, Nanjing 210048, China)

**Abstract:** In this research, we establish a model to predict the wear pattern of spur gear tooth under unlubricated conditions, and compare the predicted wear depth with experimental results. Through the comparison, we know some factors that influence the wearing.

**Key words:** modeling; spur gear; wear depth