

基于 Mecanum 轮配送车的视觉与磁带 双重导引技术研究

Research on Mix Guidance of Machine Vision and Magnetic Tape for Mecanum Omni-Direction Delivery Vehicle

中国空间技术研究院总装与环境工程部 潘尚洁 赵璐 于洋

[摘要] 针对卫星总装过程中提出的物料配送需求,设计并实现了以 Mecanum 轮全方位移动平台为基础,可在狭窄配送通道内快速、灵活移动的智能物料配送车。结合总装现场实际环境条件,配送车采用了视觉导引与磁带导引相结合的智能导引策略,有效消除了光照强度变化、地面裂纹、电磁信号干扰等环境因素对车道线采集的影响,最终实现总装物料从库房至多工位的自动配送。

关键词: Mecanum 轮 视觉导引 磁带导引

[ABSTRACT] The intelligent delivery vehicle for material distribution is based on the Mecanum omni-direction mobile platform, which is fit for flexible moving in narrow space. Combining with the environment of assembly hall, the mix guidance method of machine vision and magnetic tape is used on the vehicle to overcome the impact from illumination, group crack, electromagnetic interference etc. The vehicle is used to distribute all kinds of material from warehouse to operation station automatically.

Keywords: Mecanum wheel Machine vision guidance Magnetic tape guidance

目前卫星总装过程中,总装物料采用“库房集中管控,班组按需领取”的管理机制,物料领取及准备工作占用了大量总装主线时间。为提高总装主线操作效率,需要对传统的物料管理机制进行变革,利用自动配送技术实现总装物料由库房到总装工位的智能配送。然而总装现场环境复杂,配送通道狭窄、光照不均匀、地面龟裂多、电磁干扰多,以及基建条件难以改动等客观因素的存在对物料自动配送提出了更高的要求。

物料配送车是实现智能配送的基础。传统的轮式车辆在改变运动方向时转弯半径较大,不适于狭窄转运通道内的使用。而基于 Mecanum 轮移动机构的配送车主要是通过调整轮系间转速和转向,即可实现车体沿

$0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内任意方向的直行以及零转弯半径下的任意角度旋转,这种运动学上的特性非常适合于总装大厅内物料配送工作。

自动导引技术是实现智能配送的关键。目前应用比较广泛的自动导引技术包括视觉导引、磁带导引、电磁导引和激光导引等^[1]。相对于其它导引技术,视觉导引、磁带导引具有控制简单、成本低、对周围基础设施改动及影响小等特点,适合在卫星总装大厅环境下应用。然而,视觉导引与磁带导引均存在一定的不足,其中视觉导引对环境要求较高,且易受光照因素、地面因素等影响^[2],磁带导引易受周围电磁信号影响,且可检测范围较小^[3]。而采用两种导引方式相结合的导引策略,可有效消除干扰,实现精确导航定位。

本文以基于 Mecanum 轮移动机构的全方位物料配送车为基础,设计了视觉与磁带导引相结合的导引控制系统,通过对两种导引方法的有机融合最终实现对卫星总装物料的精确配送。

1 全方位物料配送车整体结构

全方位物料配送车以 Mecanum 轮全方位移动系统为基础,共包括了视觉图像采集模块、磁导引传感器模块、超声波障碍物采集模块、计算控制模块、供电电模块和运动执行机构等几个部分。其中,计算控制模块包括上位机和下位机两个部分。上位机负责各类信号的处理及运动决策,下位机在接收到运动信号后完成运动执行机构的控制。

运动执行机构主体为 4 组 Mecanum 轮以及与之相配合的交流电机和控制器。Mecanum 轮在布局上采用对角相同的均布布局,由相互独立的交流电机控制。每一个 Mecanum 轮在转动过程中同时受到轮毂施加的沿棍子轴线方向的摩擦力 F_a 和地面施加的滚动摩擦力 F_r ,通过控制轮子不同的转速和转向配合,可以实现车体在平面内沿各个方向的平移和旋转。图 1 为本文研制的全方位物料配送车沿 15° 方向行进控制情况。

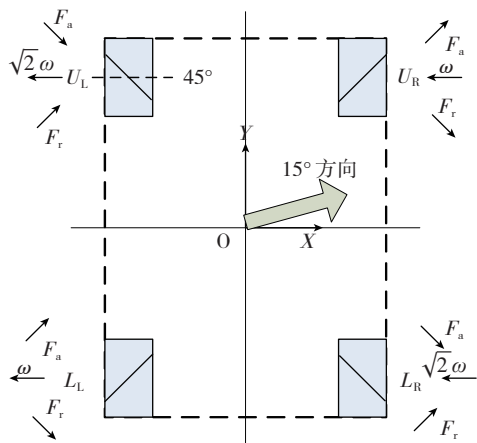


图1 沿15°方向行进控制示例
Fig.1 Guidance sample along 15° direction

2 导引控制策略

2.1 基本控制策略

物料配送车道线采用黑色可粘贴磁带铺设,在转弯位置设置转弯标识。全方位物料配送车利用 CCD 设备和磁导引传感器对行进方向的车道线进行实时采集,并回传至上位机。上位机分别对两组车道线数据进行过滤、处理和分析,并选出相对最优值作为配送车当前时刻进行运动控制的依据。

全方位物料配送车采用基于状态切换的控制方法。根据任务的需求,在实现构成中共定义了 6 种状态,分别为 Start、Track、Turnleft、Turnright、Pause、Stop。任务描述文件,开始于 Start 状态,结束于 Stop 状态的,经过 Track、Turnleft、Turnright、Pause 等状态的有序组合就可以到达任意配送地点,并实现配送过程中的自动避让。其中,Start 为手动触发状态,其他状态均可根据配送过程中的实际状况实现自动切换。各个状态间的切换关系见图 2。

全方位物料配送车的控制核心是纠偏控制。配送

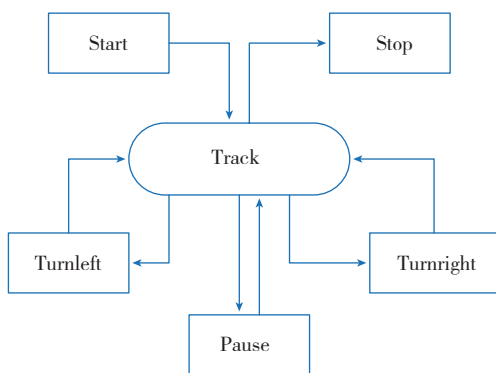


图2 配送过程状态转换关系
Fig.2 State conversion in process of delivery

车在 Track、Turnleft、Turnright 3 种状态下的实际姿态与理想姿态存在一定的偏差,需要根据实时采集的车道线信息获取车体自身的位姿状态以及与当前车道线的横向偏差 Δd 和角度偏差 $\Delta \theta$,并根据偏差大小确定控制策略和控制参数,通过不断的迭代引导车体沿着既定的车道线前行。全方位物料配送车行驶过程中存在的偏差定义见图 3。

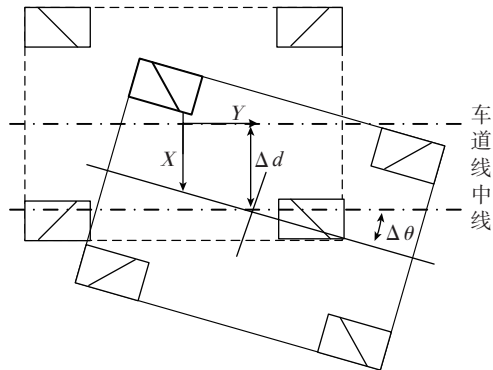


图3 全方位物料配送车行驶偏差示意
Fig.3 Illustration of deviation for Mecanum omnidirectional delivery vehicle

2.2 数据处理与提取

CCD 设备和磁导引传感器对行进方向上的车道线进行实时采集,并将原始采集信息传送至可共享的数据池中。而在数据处理过程中采用定时处理机制,处理器定时从数据池中获取当前时刻最新的采集数据,按照不同的处理规则对两种设备采集的数据进行处理,分别获得当前车道线数据信息。

针对 CCD 设备采集的车道线信息,主要进行了噪声清除、畸变校正、边缘提取等处理。其中,噪声清除采用了双向中值滤波法,即以某一特定像素点为中心确定一个长度(点数)为 m 的邻域,其中 m 为奇数,首先沿 X 轴方向一维中值滤波,再作沿 Y 轴方向一维中值滤波,进而在减少计算量的同时获得与二维中值滤波相近的结果。畸变校正采用棋盘矫正法,以 3 帧的棋盘格图像为参考获得畸变系数,并将图像中本来应该为直线的线条校正为直线,棋盘矫正法的具体矫正效果如图 4 所示。



(a) 矫正前 (b) 矫正后
图4 矫正前后图像对比(红色的点为检测角点)

Fig.4 Images comparison before and after correction (red dots are detected points)

车道线边缘提取采用 Sobel 算子算法常规 Sobel 算子具有简单、快速等优点,但只采用了两个方向模板,其边缘检测效果欠佳^[4]。本文对常规的 Sobel 算子进行改进,采用 8 个方向的边缘检测模板进行边缘抽取,8 个模板的参数见图 5。利用改进 Sobel 算子进行图像抽取后,获取二值化的车道线边缘图像,进而获取车道线中心线的斜率,并以此为参考计算车体位姿及偏差。

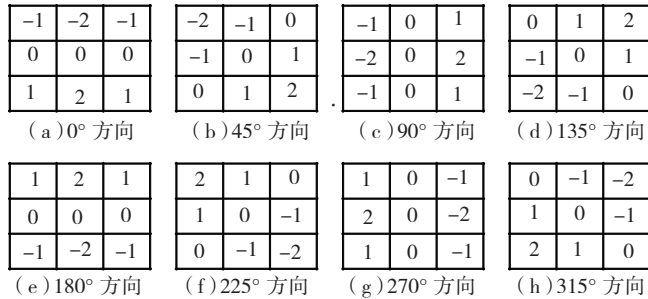


图5 8个方向Sobel算子模板

Fig.5 Templates of Sobel operator in 8 directions

针对磁导引传感器采集的车道线信息,提取不同采样点的电位信息,获取被触发最左侧的采样点 L_1 和最右侧采样点 R_1 ,进而获得车道线中心点相对于当前磁导引传感器的位置。通过对全方位物料配送车前后两个磁导引传感器的信息进行处理即可获得车体位姿及偏差信息,作为后继智能控制策略制定的参考依据。

2.3 偏差选取及调整算法

车体中心轴线与车道线中心线之间的偏差分为角度偏差和横向偏差两大类,结合工程经验将 $\Delta\theta$ 调整的阈值范围设定为 $(-10^\circ, 10^\circ)$, Δd 调整的阈值范围设定为 $(-50\text{mm}, 50\text{mm})$,并在偏差调整过程中优先调整角度偏差量 $\Delta\theta$ 。

全方位物料配送车采用了两种车道线采集设备,因信息采集和数据处理方式不同,最终获得的车体位姿及偏差信息存在一定的差异。在判定两组数据均为有效数据后,为避免因某一偏差过大引起全方位物料配送车控制失调,在偏差调整时选取较大的偏差值作为位姿调整的依据。具体的调整算法见图 6。

3 试验验证

针对当前控制策略,在总装现场实际环境条件下开展跑车试验,车道线采用宽度为 100mm 的黑色磁带。配送起点为总装配套库房(A),配送时按顺序分别配送至相对分散的工位 B、C 和 D,配送完成后最终回到总装配套库房(A)。配送路径共涉及 90° 转弯 3 个,单次配送距离近 150m。试验连续开展 8 组,试验过程中对到达以上各点的横向偏差 Δd 和角度偏差 $\Delta\theta$ 进行测

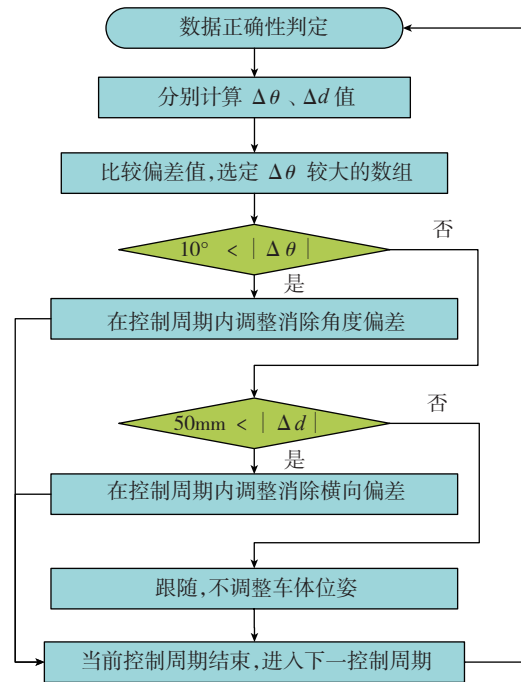


图6 运动偏差调整算法

Fig.6 Method of deviation control

量,并对整个配送过程中出现的最大横向偏差与角度偏差进行记录,如表 1 所示。

表1 跑车试验偏差值

参数	1	2	3	4	5	6	7	8	均值	
B	$\Delta d/\text{mm}$	23	35	19	12	16	28	31	20	23
	$\Delta\theta/(\circ)$	8	4	7	6	5	4	3	6	5
C	$\Delta d/\text{mm}$	39	19	42	35	29	17	33	31	31
	$\Delta\theta/(\circ)$	7	3	6	7	8	6	4	8	6
D	$\Delta d/\text{mm}$	26	32	41	19	25	38	34	44	32
	$\Delta\theta/(\circ)$	5	8	5	7	4	6	8	8	6
A	$\Delta d/\text{mm}$	41	38	21	13	27	32	38	30	30
	$\Delta\theta/(\circ)$	3	8	7	7	5	4	8	3	6
最大	$\Delta d/\text{mm}$	54	59	61	57	63	56	55	60	58
	$\Delta\theta/(\circ)$	14	16	12	12	14	15	16	13	14

跑车试验结果证明本文设计的导引策略能够确保配送工位的准确到达,同时也能实现配送过程中的准确导引,可以有效满足总装物料的自主配送需求。

4 结论

本文结合总装物料管理需求和总装现场的环境因素,以 Mecanum 轮全方位移动系统的配送车为基础,设计了视觉导引与磁带导引相结合的导引方法,配送过程中采取了基于状态切换的基本控制方法以及针对角度偏差和横向偏差的调整算法,最终实现了总装物料从库

(下转第 143 页)

单台测长相相机分辨率 = 视场范围 / 相机像素数
= 2200/3840 = 0.57mm。

应用角点定位可提高精度的特点可实现 2 倍像素细分。

则分辨率 = 0.57/2 = 0.285mm,

长度测量精度 = $\pm\sqrt{0.285^2 + 0.285^2} \approx \pm 0.4\text{mm}$ 。

3.2 标定误差

这一误差包含了标定板制造误差和标定模型误差两个部分,标定板制造误差可控制在 0.05mm 以内,模型误差可实现 0.05mm 水平,综合标定误差为 0.1mm。

3.3 测量系统精度合成

采用极限误差合成方法知:

系统测量精度 = $\pm\sqrt{0.4^2 + 0.1^2} \approx \pm 0.41\text{mm}$ 。

满足技术指标。

4 量化点胶控制

通过对外热流制作工艺的研究,梳理得出外热流在导线焊连以及加热片角点点胶中共存在以下 6 中胶点,该 6 种类型基本涵盖了外热流制作过程中的点胶形式。

- (1) 胶点 1: 小型圆点, 半径 5mm;
- (2) 胶点 2: 中型圆点, 半径 10mm;
- (3) 胶点 3: 大型圆点, 半径 15mm;
- (4) 胶点 4: 直线型, 宽度 5mm, 长度 15mm;
- (5) 胶点 5: 中部圆点型, 中心胶点半径 10mm, 两边直线段长 5mm, 宽 4mm;
- (6) 胶点 6: 椭圆型, 长轴 20mm, 短轴 10mm。

4.1 点胶动作规划

通过对该 6 种类型的胶点的点胶路径的摸索,在系统中形成了该 6 种胶点的固定模块,以胶点 1 为例,其路径规划如下:

- (1) 点胶头移动到点胶位置, Z 轴方向下降到点胶高度;
- (2) 开胶, 并延时 2s;
- (3) 关胶;
- (4) 向上提起 1mm;
- (5) 向 X 轴方向运动 7mm, 速度 15mm/s;
- (6) 从当前位置开始, 运行一个以点胶中心位置为圆心, 半径为 7mm 的圆的轨迹, 速度为 15mm/s;
- (7) 抬起点胶头, 点胶结束。

全过程约为 4.7s。

4.2 试验验证

目前该全自动量化点胶机已经应用于型号的外热流制作中,图 3 为 XX 星某图号外热流实际点胶图。

从图 3 可以看出,利用该设备点出的胶点均匀美观、

在点胶量、点胶位置等方面的实现了精确控制,由机器代替人工操作,大幅度提升了点胶质量和效率。另外,该设备还可实现外热流加热片位置画线、点胶位置自动识别、胶点类型量化,模块化(可拓展)、全自动点胶等多项功能。

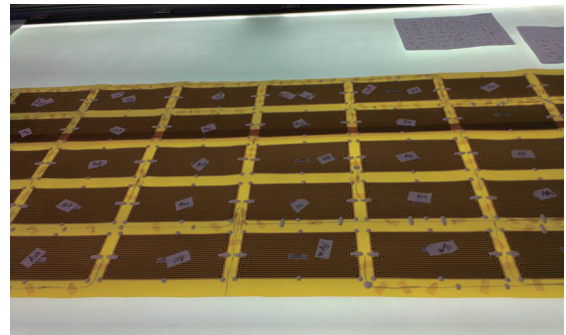


图3 自动量化点胶机点胶图

Fig.3 Dispensing diagram for automatic quantification dispenser

5 结束语

本文研发了一套总装专业化操作自动量化点胶系统,具体包含点胶机和双目测量系统两大部分,能够满足在卫星外热流生产过程中加热器位置自动画线、胶点位置智能选取、自动点胶等功能,有效地提升了外热流生产的效率和质量,并大幅度的提高了自动化程度,为航天专业化技术发展提供强有力的保证。

参考文献

- [1] 成钢,李尧.航天用 RTV GD414 硫化性能研究.真空与低温,2013,13(1):50-55.
- [2] 程方,张曦,张金松.基于机器视觉的点胶机定位系.机械设计与制造,2013(3):101-104.
- [3] 刘佳音,王忠立,贾云得.一种双目立体视觉系统的误差分析方法.光学技术,2003,29(3):354-360.

(责编 深蓝)

(上接第 140 页)

房至多工位的自动配送,为提高总装主线操作效率起到了有效的促进作用。

参考文献

- [1] 尹晓红.自动引导车运动分段控制技术[D].合肥:合肥工业大学,2011.
- [2] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. Image processing analysis and machine vision. 北京:清华大学出版社,2011.
- [3] 李季.磁导引 AGV 的设计[D].济南:山东大学,2013.
- [4] 袁春兰,熊宗龙,周雪花,等.基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究.激光与红外,2009(1):85-87.

(责编 深蓝)