

自动化集装箱码头水平运输定位技术

上海振华重工(集团)股份有限公司 毕艳飞,单磊,黄旭东,刘春明

自动化集装箱码头的水平运输设备包括自动导引车(automated guided vehicle, AGV)、跨运车和无人集卡等。定位技术在自动化集装箱码头水平运输作业中发挥着重要作用。直到 20 世纪 80 年代初,埋线电磁感应一直是 AGV 的主要引导技术。随着电子技术的发展,多种新型的引导技术得到广泛研究和应用,其中包括激光引导、超声引导、光反射检测、惯性导航、图像识别和坐标识别等。研究自动化集装箱码头水平运输定位技术,对提高水平运输作业效率及确保水平运输作业安全具有重要意义。

1 磁钉定位系统

1.1 磁钉定位系统工作原理

磁钉定位系统由导航控制器、定位天线、磁钉等组成。当定位天线正常工作时,其以固定频率发

射探测信号;此时,若磁钉在定位天线的读写范围内,则利用感应到的信号,以定位天线工作频率的 $1/2$ 频率循环发送自身代码,从而得到磁钉的编号及位置等信息,完成导航定位。

1.2 磁钉定位系统简介

磁钉定位系统的功能是通过航位推算与绝对位置矫正相结合来实现的,并以此来消除估算模型的误差累积。磁钉定位系统结构如图 1 所示。磁钉天线绝对位姿测量系统的误差包括天线检测精度误差以及磁钉位置测量精度误差。磁钉布局如图 2 所示。位姿估算系统利用传感器探测的有效值,基于 AGV 的运动学模型计算位姿。位姿估算系统误差包括 AGV 模型误差、计算周期误差、传感器累积误差以及传感器安装误差。磁钉定位误差示意图如图 3 所示。

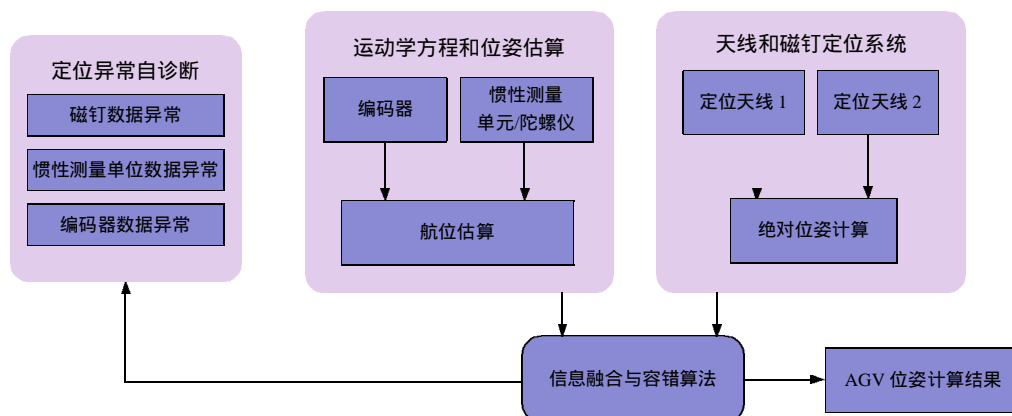


图 1 磁钉定位系统结构

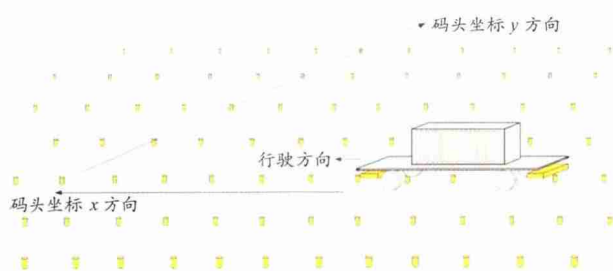


图 2 磁钉布局

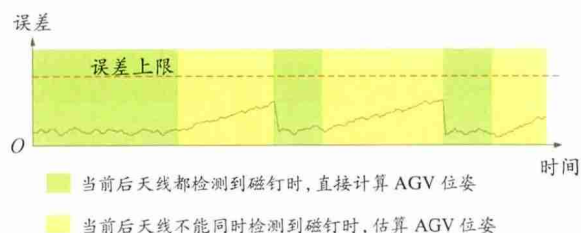


图 3 磁钉定位误差示意

1.3 磁钉定位系统的优缺点

磁钉定位系统的优点是定位精度高、数据稳定性好；其缺点包括对场地的要求较高、金属物会对磁钉产生干扰、磁钉维护耗时耗力、后期投入成本较高等。从上海港洋山深水港区自动化集装箱码头、青岛港全自动化集装箱码头和厦门远海自动化集装箱码头等项目对磁钉定位系统的实际应用情况来看，随着磁钉定位系统算法不断优化和完善，系统运行越来越成熟和稳定。

2 无线定位系统

2.1 局域定位系统

2.1.1 局域定位系统简介

局域定位系统(local positioning system, LPS)是由至少 4 个地面基站组成的新型陆基伪卫星定位系统，各基站使用时间同步算法和信号体制技术进行

高精度时间对准和测距，由 LPS 基站广播导航信号，用户接收并处理（定位解算）导航信号后得到高精度的位置、速度、时间等参数。LPS 定位原理如图 4 所示。

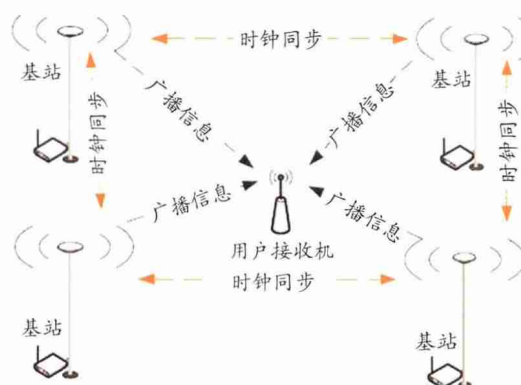


图 4 LPS 定位原理

2.1.2 LPS 测试过程

将车辆静止停放在某一位置，对比磁钉定位系统得到的位置坐标和 LPS 得到的位置坐标，以验证数据的稳定性及准确性，具体数据见表 1。由均方根误差可以看出，LPS 数据的准确性和稳定性均较好。选取 10 个测试点，测试定点停车精度，观察每次得到的坐标值是否发生跳变，以验证数据的稳定性和准确性。由表 2 可见，LPS 得到的 x 坐标和 y 坐标的误差均较小，即动态停车定位数据也比较稳定。

表 1 磁钉定位系统与 LPS 的静态测试数据对比 m

磁钉定位系统坐标真值	x 坐标	8.922 3
	y 坐标	23.434 3
LPS 坐标实测值	x 坐标	8.939 0±0.013 8
	y 坐标	23.420 2±0.010 8
真值与实测值的标准差	x 坐标	0.004 6
	y 坐标	0.003 6
均方根误差	x 坐标	0.017 3
	y 坐标	0.014 5

表 2 LPS 动态定点测试数据

m

测试点	第一次测试坐标值	第二次测试坐标值	第三次测试坐标值	x 方向误差	y 方向误差
1	(55.403, 21.075)	(55.404, 21.080)	(55.408, 21.077)	0.005	0.005
2	(55.462, 37.082)	(55.436, 37.104)	(55.438, 37.082)	0.026	0.022
3	(55.433, 51.137)	(55.435, 51.137)	(55.438, 51.140)	0.003	0.003
4	(10.925, 45.455)	(10.928, 45.441)	(10.930, 45.443)	0.005	0.004
5	(24.949, 45.411)	(24.950, 45.413)	(24.951, 45.414)	0.002	0.003
6	(38.932, 45.385)	(38.933, 45.379)	(38.925, 45.387)	0.006	0.008
7	(8.937, 25.448)	(8.923, 45.448)	(8.921, 45.449)	0.016	0.001
8	(24.953, 25.437)	(24.935, 25.434)	(24.932, 25.437)	0.003	0.003
9	(40.947, 25.413)	(40.945, 25.412)	(40.946, 25.413)	0.002	0.001
10	(6.928, 7.449)	(6.926, 7.445)	(6.928, 7.443)	0.002	0.004

选取 3 个测试点,对比 3 次动态停车时磁钉定位系统得到的坐标值与 LPS 得到的坐标值。由表 3 可见,3 个动态停车位置处,LPS 得到的坐标值与磁钉定位系统得到的坐标值之间的偏差基本不超过 4 cm。

表 3 LPS 与磁钉定位系统定点测试数据比较

m

测试点	测试点 1	测试点 2	测试点 3
LPS 得到的坐标值	(8.937, 25.448)	(24.953, 25.437)	(40.947, 25.413)
磁钉定位系统得到的坐标值	(8.936, 25.436)	(24.934, 25.444)	(40.936, 25.458)
偏差	(0.001, 0.012)	(0.019, -0.007)	(0.011, -0.045)
LPS 得到的坐标值	(8.923, 25.448)	(24.935, 25.434)	(40.945, 25.412)
磁钉定位系统得到的坐标值	(8.921, 25.439)	(24.918, 25.442)	(40.935, 25.455)
偏差	(0.002, 0.009)	(0.017, -0.008)	(0.010, -0.043)
LPS 得到的坐标值	(8.924, 25.449)	(24.932, 25.437)	(40.946, 25.413)
磁钉定位系统得到的坐标值	(8.921, 25.438)	(24.916, 25.444)	(40.935, 25.456)
偏差	(0.003, 0.009)	(0.016, -0.007)	(0.011, -0.043)

2.1.3 LPS 测试结果

LPS 测试需要事先搭建测试环境和安装设备,并测量基站的准确位置,完成整体布局。静态测试解决了由于基站通信异常导致的 LPS 位置计算错误的问题;动态测试极大地改善了 LPS 得到坐标数据的延时问题。为了保证车载接收机在任何时间都能够连接至少 4 个基站,根据实际场景布置和安装基站尤为重要。

2.2 超宽带定位系统

2.2.1 超宽带定位系统简介

超宽带 (ultra-wide band, UWB) 定位技术是以极低的功率在短距离内高速传输数据的新型无线定位技术。UWB 定位系统具有系统容量大、传输速度快、发射功率低、抗干扰性强、系统保密性好、定位精度高等优点,其缺点是测量距离有限。UWB 定位系统使用多个 UWB 模块,利用三边定位原理,计算

AGV 车载测距模块与其他基站模块之间高精度的距离信息,从而解算 AGV 的位置和速度信息。UWB 定位系统结构如图 5 所示。

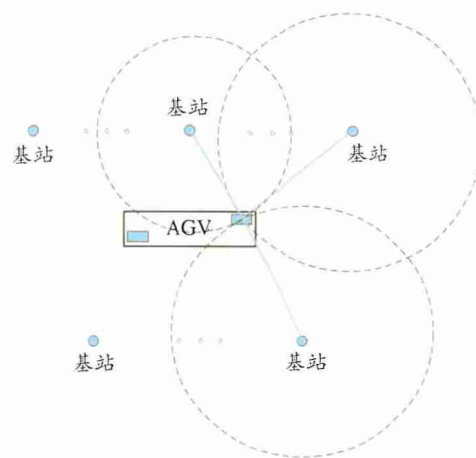


图 5 UWB 定位系统结构

2.2.2 UWB 定位系统测试过程及结论

对 UWB 定位系统进行静态测试和动态测试,

然后对比 UWB 定位系统得到的定位数据与磁钉定位系统得到的定位数据。静态测试下 UWB 定位系统的定位数据与磁钉定位系统的定位数据之间的偏差不超过 3 cm(见表 4),即 UWB 定位系统的定位精度满足使用要求;动态测试下 UWB 定位系统得到的定位结果与磁钉定位系统得到的定位结果偏差 5~10 cm,同样满足使用要求。因此,UWB 定位系统可以应用于自动化集装箱码头水平运输设备。

表 4 静态测试下磁钉定位系统与 UWB 定位系统的定位数据比较 m

测试点	磁钉定位系统得到的 x 坐标值	磁钉定位系统得到的 y 坐标值	UWB 定位系统得到的 x 坐标值	UWB 定位系统得到的 y 坐标值
1	12.00	18.00	12.00	17.99
2	16.00	18.00	16.01	17.99
3	20.00	18.00	20.03	17.99
4	24.01	18.00	24.04	17.99
5	28.00	18.00	28.04	17.99
6	32.00	17.99	32.01	18.00
7	28.00	22.00	28.04	22.00
8	24.00	22.00	24.02	21.99
9	19.99	21.99	20.02	21.99
10	15.99	21.99	16.01	21.99
11	12.01	21.98	12.01	21.98
12	12.00	26.00	12.00	25.96
13	16.00	26.00	16.02	25.99
14	20.00	26.00	20.03	25.99
15	24.00	26.00	24.04	26.00
16	28.00	26.00	28.04	25.99
17	32.00	30.00	32.04	29.98
18	28.00	30.00	28.03	29.98
19	23.99	29.99	24.03	29.98
20	20.00	30.00	20.02	29.98

在进行动态测试时,从直行路径和转弯路径两个方面来测试磁钉定位系统和 UWB 定位系统的最大路径误差(见表 5):两个定位系统得到的横向(y 方向)路径均有较大误差,其中包括一定的系统误差和坐标数据误差。

表 5 动态测试下磁钉定位系统与 UWB 定位系统的最大路径误差比较

路径	磁钉定位系统的最大路径误差/m		UWB 定位系统的最大路径误差/m		航向角误差/(°)
	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向	
直行路径	0.006 0	0.033 4	0.026 9	0.074 9	0.287
转弯路径	0.008 2	0.134 5	0.126 8	0.208 8	1.010

2.3 全球定位系统

全球定位系统(global positioning system,GPS)是中距离圆型轨道卫星导航系统,可以为地球表面绝大部分地区(98%的区域)提供准确的定位和测速及高精度的时间标准。GPS 由美国国防部研制和维护,可满足位于全球任何地点或近地空间的军事用户连续精确地确定三维位置、三维运动和时间的需要。该系统包括太空中的 24 颗 GPS 卫星,地面上的 1 个主控站、3 个数据注入站和 5 个监测站,以及作为用户端的 GPS 接收机。GPS 的优势明显,仅需系统中的 3 颗卫星就能迅速确定用户端在地球上所处的位置及海拔高度;其所连接的卫星数量越多,定位就越精确。^[1]

2.4 小结

LPS 的优点是局域可用性好、抗干扰、精度高、室内外一体,缺点是只能在一定局域内使用。UWB 定位系统的优点是抗干扰性能强、带宽极宽、电耗小,缺点是测量距离有限。GPS 的优点是全球覆盖、全天候,缺点是信号弱、精度不够、在室内和城市的可用性差。

3 视觉定位系统

视觉定位系统通过视觉图像处理的方法进行导航定位。根据使用视觉传感器的数量,视觉定位系统的定位方法可以分为基于单目视觉的定位、基于双目视觉的定位和基于全方位视觉的定位。基于单目视觉的定位方法仅用 1 个视觉传感器完成定位,基于摄像机数学模型建立空间目标特征点与图像特征点之间的对应投影变换关系,从而确定目标特征点的位置信息。^[2]该定位方法的优点是结构简单,运用灵活,易于标定且实时性较好,缺点是精度较低。基于双目视觉的定位方法仿照人类双眼感知周围环境空间深度的功能,利用 2 个视觉传感器从不同位置拍摄同一场景,对所拍摄的图像进行匹配,并计算视差,然后利用三角测量原理实现距离测量。该定位方法的优点是精度较高,缺点是运算量较大且匹配对应像素点时难度较大。基于全方位视觉的定位方法利用全方位视觉传感器来完成目标定位。该定位方法的优点是视野范围广,缺点是测量深度

较复杂。

在实际应用中,视觉定位系统的视觉传感器对目标的探测和识别容易受到光照和大雾、大雨、大雪等恶劣天气的影响;因此,视觉定位系统在港口水平运输设备中还未得到全面应用。

4 激光雷达定位系统

激光雷达定位系统的定位方法可分为基于反射路标的定位方法和基于即时定位和地图构建(simultaneous localization and mapping, SLAM)的定位方法。在基于反射路标的定位方法下,人工将反射路标布置在可能行经的路径周围,水平运输设备上安装激光发生器用以扫描周围的路标,通过计数的方式获得相应路标的信息,然后采用匹配算法和定位算法得到AGV的位姿。^[3]该定位方法具有精度高(定位误差不超过2 mm)、柔性好、可靠性高等优点,地面无需其他定位设施,能够适用于复杂的路径条件和工作环境。在基于SLAM的定位方法下,采取即时定位并构建地图的方式,能够快速更换行驶路线和修改运行参数。^[4]该定位方法不太适用于比较空旷的环境,因为必须有明显的特征标识才能构建地图进而实现定位。传统集装箱码头的作业环境比较复杂,相应的特征标识较多,因而可以应用基于SLAM的定位方法。

5 结束语

综上所述,磁钉定位系统是目前在自动化集装

箱码头环境下应用最为成熟的定位技术,具有定位精度高、数据稳定等优点,其主要缺点是磁钉的维护工作耗时耗力,并且对定位区域的场地要求较高,对磁钉铺设也有一定要求;LPS的测试结果比较理想,主要难点是基站布置要求无线信号全覆盖,并且要避免基站被遮挡,保证在任何时间都能连接到相应数量的基站,以确保无线信号的可靠性;UWB定位系统的测试结果也比较理想,主要难点是解决动态运行时无线定位的延时问题,同时还要考虑基站的布置和遮挡等问题;在水平运输设备中应用视觉定位系统的难点是,如何控制光照和天气等因素对定位精度的影响;在水平运输设备中应用激光雷达定位系统的难点是,需要安装大量反射路标,并控制路标的摆放位置和数量,同时还要避免信号遮挡,特别是基于SLAM的定位方法需要解决路线上的特征标识问题,以便构建地图。

参考文献:

- [1] 刘基余. GPS 卫星导航定位原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 16-28.
- [2] 周娜. 基于单目视觉的摄像机定位技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007: 7-8.
- [3] 刘红宇. 基于双目立体视觉拟人机器人定位关键技术的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2006: 12-13.
- [4] 张海强, 窦丽华, 陈杰, 等. 典型场景下EKF-SLAM估计一致性分析[J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(10): 1194-1197.

(编辑:曹莉琼 收稿日期:2018-05-08)

