

文章编号: 1001-3806(2015)03-0357-04

飞机泊位系统中的激光扫描数据的处理

王春彦, 邸金红

(郑州航空工业管理学院 电子通信工程系, 郑州 450000)

摘要: 为了实现飞机泊位系统的精确性和实时性、保证激光扫描数据的可靠性,建立了基于双振镜的激光扫描系统。采用数据精简、去噪处理、坐标转换、距离值补偿等数据处理技术,对激光扫描系统的数据进行了误差分析和噪声分析,通过机场的实地测试,取得了飞机泊位过程中的激光扫描数据。结果表明,通过对激光扫描数据的处理,可以实现飞机的准确泊位,与飞机停止线的误差小于100mm。

关键词: 激光技术;飞机泊位;数据处理;噪声分析

中图分类号: TN249

文献标志码: A

doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.03.017

Processing of laser scanning data in aircraft parking systems

WANG Chunyan, DI Jinhong

(Department of Electronic and Communication, Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to realize the real-time and accuracy of an aircraft parking system and ensure the reliability of laser scanning data, a laser scanning system based on dual galvanometer was established. Error of the laser scanning system and noise of the laser measuring data were analyzed by using the data processing technology such as data reduction, de-noising, coordinate transformation, distance compensation. The laser scanning data of airplane parking was obtained after field test of an airport. The results show that airplanes can be parked accurately through processing of laser scanning data, and the distance between stop line and plane can be assured to less than 100mm.

Key words: laser technique; airplane parking; data processing; noise analysis

引言

飞机泊位引导^[1]是指将到港飞机从滑行道末端导引至机坪的停机位置并准确停泊的过程。目前,飞机泊位引导主要分为两种工作方式:(1)人工引导;(2)自动引导。人工引导是通过专业引导员站在入坞飞机的前方用专用标牌向飞行员展示各种行为语言来指示飞机的入坞信息。自动引导是通过各种类型传感器采集入坞飞机的姿态和速度信息,利用计算机对这些入坞信息进行有效处理和分析进而产生入坞飞机的引导信息,并通过停泊前方的显示设备向飞机驾驶员、副驾驶或其他人员显示泊位引导信息。近年来,随

着机场管理控制系统的自动化、网络化、一体化和智能化水平的提高,传统的人工引导方式已不能满足需求。自动飞机泊位引导系统则能有效提高机场的装备水平、运营效率、管理水平和服务质量。

自动飞机泊位引导系统按使用传感器的类型不同主要分为:(1)地理线圈类;(2)激光扫描测距类;(3)视觉感知类。地理感应线圈类误差较大、易损坏、可靠性不高;视觉感知类对天气和照度有要求、适应性较差;而激光扫描测距类不受环境照度的影响、且受天气影响较小、精度较高,因而得到广泛应用。飞机泊位系统国外早有所发展,1992年瑞典的FMT公司研制了基于激光技术的飞机位置及咨询显示系统(aircraft positioning and information system, APIS);1995年瑞典的Safegate公司推出了以激光为基础的新一代Safedock引导系统。目前,Safegate公司市场占有率达到80%。美国Honeywell公司的可视化飞机泊位引导系统(visual docking guidance system, VDGS)和德国西门子公司的视频泊位引导系统(video docking system, VDOCKS)也得到应用。而国内还没有生产销售具有自主知识产权的泊位引导系统。

基金项目:河南省科技厅科技发展计划资助项目(142102210506);河南省教育厅科学技术研究重点资助项目(14B510029)

作者简介:王春彦(1979-),男,讲师,主要研究方向为电子系统设计和图像处理。

E-mail:wangchunyan555@163.com

收稿日期:2014-05-04;收到修改稿日期:2014-06-25

1 基于激光扫描的飞机泊位的原理与激光扫描系统的构成

基于激光扫描^[2]的飞机泊位引导系统采用水平扫描步进电机和垂直扫描步进电机驱动水平振镜和垂直振镜,对激光测距仪的发射光束和回波光束实现偏移,水平振镜和垂直振镜的偏转角及激光测距数据组合后得到3维测量数据。3维数据以离散点的形式描绘出飞机机头的轮廓,提取出飞机鼻尖和引擎的参量,并将引导信息显示在正对引导线安装的LED上,从而实现入坞飞机的捕获、跟踪、引导、识别、精确定位,并要求在停止线上,飞机偏离引导线的距离小于100mm。

跟踪引导飞机泊位的过程中,双镜系统中的垂直镜跟踪飞机的鼻尖,水平镜水平扫描1行,根据落在飞机上的扫描点,通过二次拟合,拟合出的曲线上的顶点,即距离最小值点,就是飞机的鼻尖。通过对鼻尖所在位置的坐标解算,得出鼻尖相对于引导线的偏差,判断当前飞机是否偏离引导线,并将飞机的偏离情况通过LED屏显示,飞机员通过查看LED,调整飞机至引导线重合。在引导飞机泊位的过程中,根据飞机固有的特性,不同的型号飞机的鼻尖高度和引擎距离鼻尖的距离不同,对泊位飞机的机型进行识别。

本文中研究的飞机泊位系统基于振镜的激光扫描^[3-5],如图1所示。激光扫描系统设计为外置于工控机的独立子系统,便于其维护与调试,提高系统的可靠

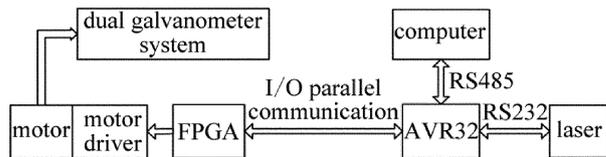


Fig. 1 Laser scanning system of aircraft docking system

性。控制器采用 AVR32,通过输入/输出 (input/output, I/O) 并行通信与现场可编程门阵列 (field programmable gate array, FPGA) 协同工作,完成水平和垂直扫描控制、激光扫描数据的采集、与工控机的数据通信等,而激光扫描点云数据的处理由工控机完成,并由当前数据处理结果得到下一步需采取的扫描策略。激光扫描系统通过独立的 RS485 接口与工控机连接,形成一对一的通信方式。

2 激光扫描数据处理算法流程图

对激光扫描数据进行处理,主要是为了消除激光扫描数据点中的噪声点,并对该噪声点进行补偿;精简数据传输字节,以提高数据在上位机和控制板卡之间的通信速率;对扫描点数据进行曲线拟合以获得飞机的扫描轮廓,判断飞机相对停止线的左右偏离情况,处理流程如图2所示。

在激光扫描数据的处理过程中,主要采用了对激光扫描数据的精简和错误点标识,对应图2a;对激光扫描数据进行中值滤波以消除噪声点,对应图2b;对机头扫描数据进行曲线拟合,以满足数据结算的需求,对应图2c。

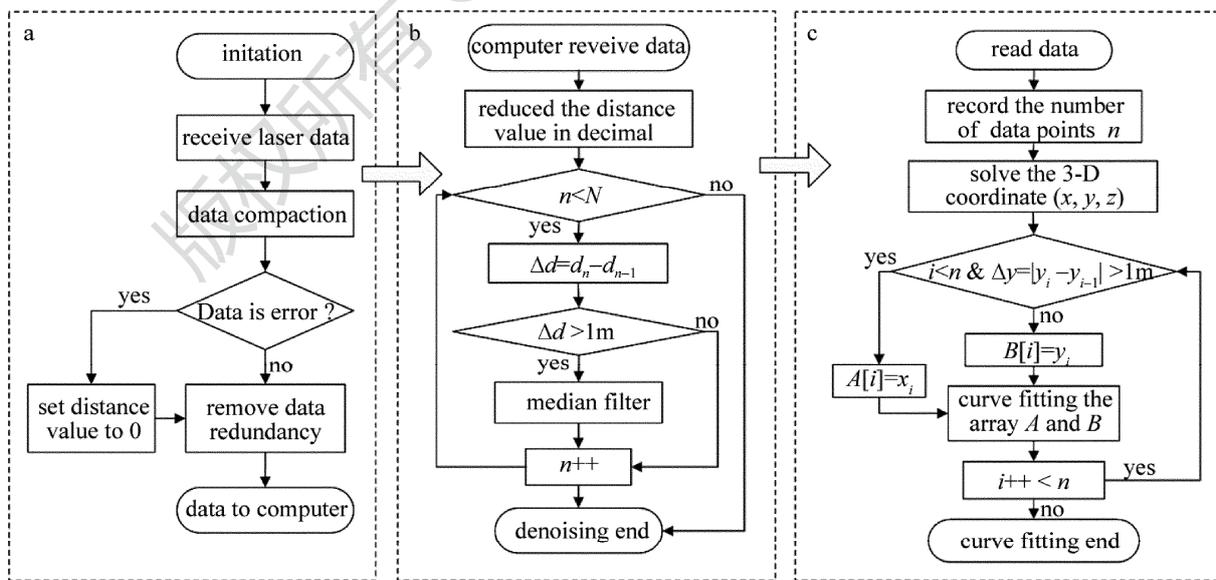


Fig. 2 Processing of laser scanning data

3 数据精简与错误点标识

激光扫描系统选用班纳公司的 LT300 远距离激

光测距仪^[6]。班纳 LT300 型激光测距仪采用激光脉冲飞行时间测量法,对于自然物体表面测量范围可达300m,满足飞机泊位的距离要求,测量精度到60mm,

满足系统的 100mm 泊位误差要求。

激光测距仪以二进制输出距离值,单位为 mm。输出距离值为 3byte,其中 byte 2 最高位始终为 1;byte 1 和 byte 0 的最高位始终为 0。剩余的 21bit 表示距离值。为了数据的快速传输,需要在 AVR32 MCU 中对数据精简处理。先将 byte 2,byte 1 和 byte 0 的最高位去掉。在机场的实际环境中,由于飞机泊位的最大距离不大于 200m,因此表示距离值的 21bit 中,使用低 18bit 就可以表示 200m 内的任意距离,单位为 1mm,而高 3bit 不使用。如图 3 所示。

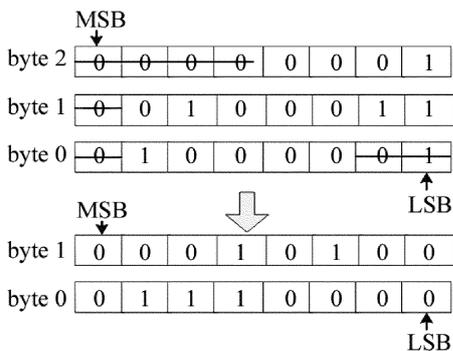


Fig. 3 Data compaction of laser scanning data

激光测距仪的单次测量误差最大为 60mm,小于 100mm 的系统误差要求,因此在毫米量级的误差可以忽略不计。将上述 18bit 量程的最低 2bit 舍去,如图 3 所示,不影响精度,此时距离值的最小单位为 4mm。从而实现将 3byte 的距离值缩减为 2byte。此时可使数据传输速率增加 1/3。以距离值 29121mm 为例,原存储格式为:0x814341。经过数据精简后,传输格式为:0x1470。数据精简算法示意如图 3 所示,图中,MSB 表示字节的最高位(the most significant bit),LSB 表示字节的最低位(the least significant bit)。

激光测距数据精简后,进行错误点的标识。在实际飞机泊位的过程中,由于飞机泊位系统安装位置距离飞机停止线的距离在 12m 以上,整个飞机入坞区域中和飞机泊位系统的安装位置的最大距离不超过 150m。因此,将精简后的激光数据值中的小于 12m 和大于 150m 的距离值标为 0,并在上传数据给工控机之前,去除这些距离值为 0 的数值。

4 消除噪声

通过对机场的现场测试数据分析可知,在连续扫描的数据中总存在一些杂散点和错误点,需要对其进行滤除。为保证数据处理的实时性,此处引入图像处理中的中值滤波算法并加以简化,使之应用于激光扫描数据的噪声去除^[7-8]。消除噪声的流程如图 2b 所示。

将激光扫描的每行/列数据看成点集 $P(d_1, d_2, d_3, \dots, d_N)$ 。定义前向数据差 $\Delta d_b = d_i - d_{i-1}$ 。对于在一个平面上的点, $d_i \approx d_{i-1}, \Delta d \approx 0$ 。由于存在噪声点,且假设该噪声点的值为 d_i ,通常该噪声点值与其相邻点 d_{i-1}, d_{i+1} 的差值 Δd_i 和 Δd_b 会较大,其中 $\Delta d_i = d_i - d_{i-1}, \Delta d_b = d_i - d_{i+1}$ 。根据机场实验得到的数据分析,设定阈值 $\Delta d = 1m$,即相邻两点的距离差值阈值大于 1m 时,可认为距离值发生突变,对应的激光点不在同一个平面上^[9-11]。如图 4 所示。

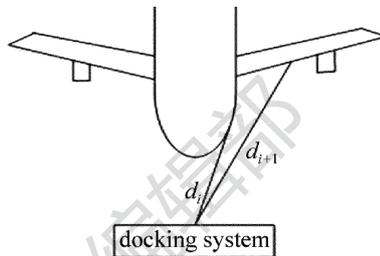


Fig. 4 Distance mutation

中值滤波的流程如图 2b 所示,中值滤波的效果如图 5 所示。

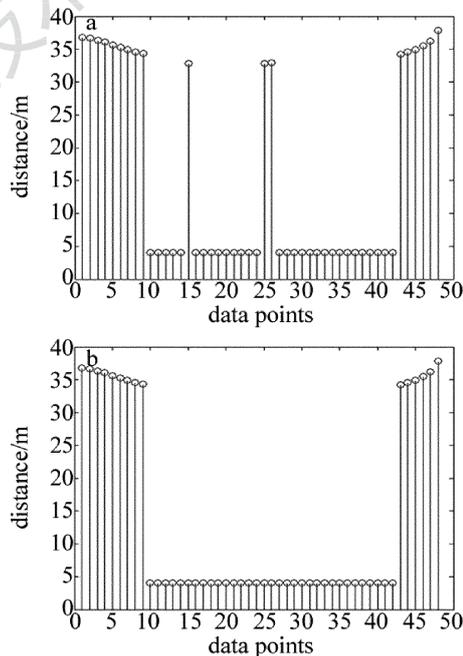


Fig. 5 Effect of the median filtering

a—before median filtering b—after median filtering

5 数据拟合

在对扫描点进行重排后,需要对扫描数据点进行曲线拟合。在实际应用中,重点关注机头位置的扫描点的曲线,根据机头外形,选择最小二乘的二次曲线进行拟合^[12-14]。

对落在机头上的 3 维点 $p_i(x_i, y_i, z_i)$ 与另一点 $p_j(x_j, y_j, z_j)$,由于 p_i 和 p_j 同属于同一行激光点,因此 $z_i = z_j$ 。即进行曲线拟合时仅需要对 (x_i, y_i) 进行曲线

拟合。

根据飞机外形轮廓和角度值 α 确定,假设落在机头上的点集为 $S(p_1, p_2, p_3, \dots, p_N)$ 。其中 p_i 的值为点集合 (x_i, y_i) 。可将飞机机头部分进行的扫描点用二次多项式拟合,即:

$$p(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (1)$$

假设 $S(a_0, a_1, a_2) = \sum_{i=0}^m [y_i - p_n(x_i)]^2$ 。根据最小二乘法则,应选择 a_0, a_1, a_2 使 $S(a_0, a_1, a_2)$ 取最小值。注意 S 是非负的,且是 a_2 的二次多项式,所以必有最小值。求 S 对 a_0, a_1, a_2 的偏导数,得到:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a_0} = \sum_{i=0}^m a_0 + \sum_{i=0}^m x_i a_1 + \sum_{i=0}^m x_i^2 a_2 - \sum_{i=0}^m y_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a_1} = \sum_{i=0}^m x_i a_0 + \sum_{i=0}^m x_i^2 a_1 + \sum_{i=0}^m x_i^3 a_2 - \sum_{i=0}^m y_i x_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a_2} = \sum_{i=0}^m x_i^2 a_0 + \sum_{i=0}^m x_i^3 a_1 + \sum_{i=0}^m x_i^4 a_2 - \sum_{i=0}^m y_i x_i^2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

引入记号 $s_k = \sum_{i=0}^m x_i^k$ 和 $u_k = \sum_{i=0}^m y_i x_i^k$,其中, k 是二次曲线拟合过程中 x_i 的幂次数。则(2)式可以表述为:

$$\begin{cases} s_0 a_0 + s_1 a_1 + s_2 a_2 = u_0 \\ s_1 a_0 + s_2 a_1 + s_3 a_2 = u_1 \\ s_2 a_0 + s_3 a_1 + s_4 a_2 = u_2 \end{cases} \quad (3)$$

将(3)式用矩阵形式表示为:

$$\begin{bmatrix} s_0 & s_1 & s_2 \\ s_1 & s_2 & s_3 \\ s_2 & s_3 & s_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

通过对此方程进行求解,可以得到 (a_0, a_1, a_2) 的值。数据拟合过程如图 2c 所示。图 6 为一次扫描数据的二次拟合曲线图。

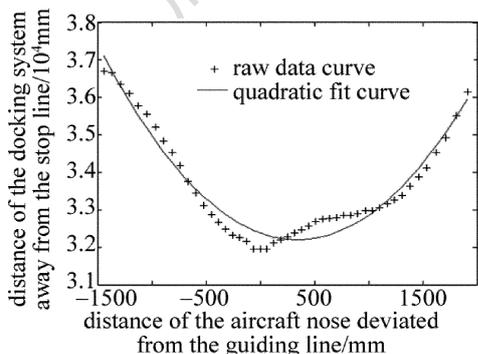


Fig. 6 Effect of conics fitting

图 6 中虚线为激光扫描原始数据的轮廓线,实线

为经过最小二乘的二次多项式拟合后的曲线。

6 结 论

针对飞机泊位对时间和精度的严格要求,本文中研究了对激光数据的处理。通过对激光数据精简,解决数据传输速率过慢的问题。通过中值滤波,能较好地消除扫描点中杂散的噪声点,且通过控制中值滤波的模长可以滤除连续的噪声。通过最小二次曲线拟合,可以描绘出飞机的外形轮廓,用来判断飞机相对引导线的偏离程度。通过机场实际测试,对激光数据的处理,可以很好地保证实现飞机泊位过程的精确性。

参 考 文 献

- [1] HAN W P, MENG W. Error analysis and correction methods of dual galvanometer scanning [J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2011, 26(4):14-18 (in Chinese).
- [2] ZHANG H X. Study on building modeling based on 3-D laser scanning technology [J]. *Laser Technology*, 2014, 38(5):431-434 (in Chinese).
- [3] PENG L Y, WANG X Y, ZHOU J T, et al. Polynomial fitting correction of galvanometer geometric distortion error in laser marking [J]. *Laser Technology*, 2013, 37(5):601-604 (in Chinese).
- [4] QIN G, XU D Sh. Design and realization of multi target pulsed laser range finder on CPLD [J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(2):152-154 (in Chinese).
- [5] LIU W. The laser ranging system based on FPGA technology [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007:30-57 (in Chinese).
- [6] ZHOU Sh Y. Design and research on laser range finder system [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009:40-52 (in Chinese).
- [7] WANG X X, JIANG D F, LIN Zh W. High efficiency implementation of real time median filtering in embedded system [J]. *Microelectronics*, 2010, 40(6):852-856 (in Chinese).
- [8] WEI Y F, DU Zh Ch, YAO Zh Q. Application of median filter in point cloud data pre-processing lidar [J]. *Laser Technology*, 2009, 33(2):213-216 (in Chinese).
- [9] ZHANG M Y, WANG H L. Application of image noise removing based on improved median filtering [J]. *Ordnance Industry Automation*, 2006, 26(8):45-47 (in Chinese).
- [10] KOLTEP P, SMITH R, SU W. A fast median filter using Altivec [C]//IEEE International Conference on Computer Design (ICCD). New York, USA: IEEE, 1999:384-391.
- [11] JIANG B, HUANG W. Adaptive threshold median filter for multiple-impulse noise [J]. *Journal of Electronic Science Technology of China*, 2007, 5(1):70-74.
- [12] REN Sh Zh, WANG G J. Optimizing the parameters of data points in curve and surface fitting [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(1):96-102 (in Chinese).
- [13] LIU J. Fitting and interpolation for curve and surface from scattered data using moving least squares method [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011:18-38 (in Chinese).
- [14] WANG L P. Research on curve and surface fitting from cloud data [D]. Ji'nan: Shandong University, 2008:18-44 (in Chinese).