

基于 TDC + STM32 激光测距系统标定方法设计

黄 钊, 顾国华, 何伟基, 徐 伟
(南京理工大学光电学院, 江苏 南京 210094)

摘 要: 针对基于 TDC + STM32 激光测距系统, 设计了一种对测量结果进行标定的方法, 以数据拟合算法为核心, 采用串口发送接收, MFC 处理等技术, 通过采集大量的实验数据, 并对数据进行拟合, 得到参数用来对系统进行标定, 使测距系统能实时反映目标距离值。

关键词: 激光测距; 标定; 数据拟合; 串口

中图分类号: TH761.2 **文献标识码:** B

Design of the method of calibration of laser ranging system based on TDC + STM32

HUANG Zhao, GU Guo-hua, HE Wei-ji, XU Wei
(School of Electric & Optic NUST, Nanjing 210094, China)

Abstract: In connection with the laser ranging system base on “TDC + STM32”, a calibration method of the measuring results with data fitting arithmetic is designed, which use serial ports to send and receive the data, and use the MFC technology to implement the processing task. Through gathering mass of experimental data and making data fitting, we can get the parameters to calibrate the measuring data of the system to get the accurate real-time distance of the target.

Key words: laser ranging; calibration; data fitting; serial port

1 引 言

在脉冲式测距系统中, 距离值一般是通过测量激光脉冲发射时刻 (start) 和接收到被测目标的反射光脉冲时刻 (stop) 之间的激光飞行时间确定的, 激光飞行时间的测量精度决定了整个系统的精度^[1]。本文讨论的激光测距系统是基于 TDC + STM32 的激光脉冲测距系统。系统采用的 TDC - GP2 是一款高精度时间测量芯片, 而 STM32 是一款基于 ARM 内核的单片机。系统由 STM32 控制, TDC 用于测量发射激光脉冲和接收激光脉冲之间的时间差, 得到一个 32 位的 16 进制时间值。得到的时间值与实际距离值存在着——对应的关系, 这种对应关系的确定与系统参数有关, 所以很有必要在系统用于测距之前对系统的测量时间值与实际距离值的关系进行标定。

国内外基于 TDC 的激光测距系统的研究有很

多, 但是没有研究测量结果标定的方法^[2-3]。虽然对其他测距系统, 如激光三角测距系统与 Acuity 激光测距仪等有相关标定方法, 但是由于应用系统不同, 对本文研究的系统的标定没有直接帮助^[4-5]。所以, 本文设计的标定方法将很好地填补这方面的空白, 有利于提高基于 TDC + STM32 激光测距系统的准确性和测量结果的直观性。

2 数据拟合算法研究

要找到测量时间值和对应的实际距离值之间的关系, 就要对大量的实验数据进行处理, 即通过数据拟合的方法找到二者的关系, 其关键就在于数据拟合的算法。然而, 数据拟合算法有很多, 针对本测距系统, 本文选用了其中两种算法, 直线拟合算法和绝

作者简介: 黄 钊 (1987 -), 男, 在读硕士生, 主要从事激光测距方面的研究工作。E-mail: jerryhz21@126.com

收稿日期: 2010-08-18; 修订日期: 2010-09-11

对值偏差最小的直线拟合算法,并用 C++ 语言写出算法相关的处理函数。

2.1 直线拟合算法

2.1.1 算法的思想

设随机变量 y 与自变量 x 之间具有函数关系 $y = y(x) = a + bx$, $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 是 (x, y) 的 n 个观测值。对每个 $i (1 \leq i \leq n)$, y_i 与真实的 $y(x_i)$ 之间的误差,服从期望值为零、标准差为 σ_i 的正态分布,求 a, b 使^[6]式(1)达到最小。

$$\chi^2(a, b) = \sum_{i=1}^n [(y_i - a - bx_i) / \sigma_i]^2 \quad (1)$$

2.1.2 算法的实现

由 $\frac{\partial \chi^2(a, b)}{\partial a} = \frac{\partial \chi^2(a, b)}{\partial b} = 0$ 得:

$$a = (s_{xx}s_y - s_x s_{xy}) / \Delta \quad (2)$$

$$b = (ss_{xy} - s_x s_y) / \Delta \quad (3)$$

其中:

$$s = \sum_{i=1}^n 1 / \sigma_i^2, s_x = \sum_{i=1}^n x_i / \sigma_i^2$$

$$s_y = \sum_{i=1}^n y_i / \sigma_i^2, s_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 / \sigma_i^2$$

$$s_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i / \sigma_i^2, \Delta = ss_{xx} - (s_x)^2$$

上述式子对于舍入误差比较敏感,因此改写如下:

$$t_i = (x_i - s_x / s) \sigma_i, i = 1, 2, \dots, n$$

$$s_{tt} = \sum_{i=1}^n t_i^2$$

则:

$$b = \frac{1}{s_{tt}} \sum_{i=1}^n (t_i y_i / \sigma_i), a = (s_y - s_x b) / s \quad (4)$$

2.2 绝对值偏差最小的直线拟合算法

2.2.1 算法的思想

设变量 y 是关于自变量 x 的线性函数:

$$y = a + bx$$

现给定 (x, y) 的 n 对观测值 $(x_i, y_i) (i = 1, 2, \dots,$

$n)$ 求参数 a, b , 使 $\sum_{i=1}^n |y_i - a_i - bx_i|$ 达到极小。

2.2.2 算法的实现

一组数 $\{C_1, \dots, C_n\}$ 的中位数 $C_M = \text{median}\{C_1, \dots, C_n\}$ 满足:

$$C_M = \min \varphi(C_M), \varphi(C_M) = \sum_{i=1}^n |C_i - C_M| \quad (5)$$

由此得到,为使 $\sum_{i=1}^n |y_i - a_i - bx_i|$ 达到极小,则对固定的 b , 其 a 为:

$$a = a(b) = \text{median}\{y_i - bx_i\} \quad (6)$$

而对参数 b 应有:

$$F(a, b) = \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n |y_i - a - bx_i| = 0 \quad (7)$$

即:

$$F(a, b) = \sum_{i=1}^n x_i \text{sgn}(y_i - a - bx_i) = 0 \quad (8)$$

用 $a = a(b)$ 代替 a , 则是单变量 b 的方程:

$$F(b) = \sum_{i=1}^n x_i \text{sgn}(y_i - \text{median}\{y_i - bx_i\} - bx_i) = 0 \quad (9)$$

对此方程,找出其根区间后用二分法求解出参数 b ,进而可由式(6)求出参数 a 。

3 标定方法设计

用本文研究的激光测距系统分别对 5, 10, 15, 20, 25 m 处的同一目标各测量 20 次,共获得 100 组数据,用以下四种方法对实验数据进行处理,并对比标定结果,选出最优的标定方法。

3.1 平均值法

把数据输入 EXCEL 中,用软件自带的图表功能,以测量距离值为 x 变量,实际距离值为 y 变量,画出 XY 散点图,并基于平均值法作出趋势线,如图 1 所示。则拟合得到的直线方程为:

$$y = 0.8449x - 6.126 \quad (10)$$

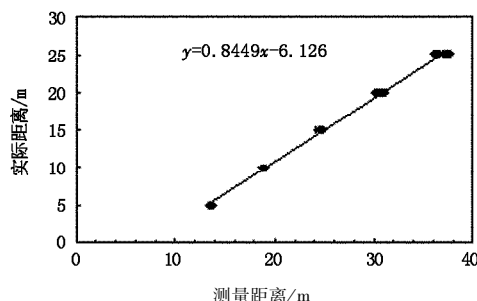


图1 平均值法拟合的直线图

3.2 直线拟合算法

(1) 不考虑测量误差的标准差

令 $\sigma_i = 1$, 由式(4)求得参数 $b = 0.77840$,

$a = -4.27002$, 则拟合直线方程为:

$$y = -4.27002 + 0.77840x \quad (11)$$

(2) 考虑测量误差的标准差

σ_i 等于测量值的标准差, 由式(4)求得参数

$b = 0.87023, a = -6.61595$, 则拟合直线方程为:

$$y = -6.61595 + 0.87023x \quad (12)$$

3.3 绝对值偏差最小的直线拟合算法

由式(9)求得参数 $b = 0.85011$, 进而由式(6)求得参数 $a = -6.20038$, 则拟合直线方程为:

$$y = -6.20038 + 0.85011x \quad (13)$$

3.4 方法的选择

经过四种方法的处理,拟合得到了4个直线方程,如式(10)~式(13)。下面分别对4种方法的误差分布情况做统计分析,如图2所示。

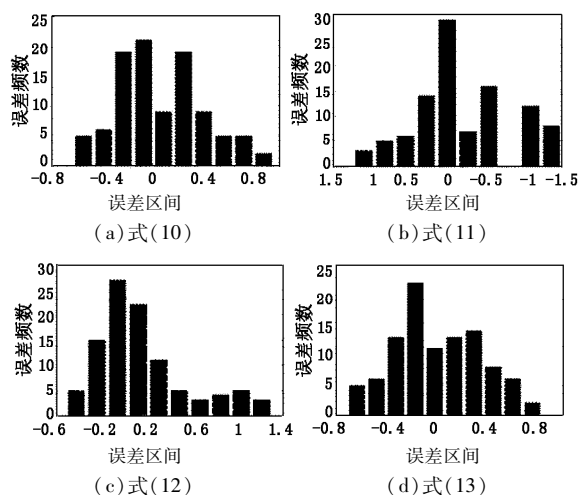


图2 四种方法的误差分布图

比较以上四幅图可知,左下角图的误差主要集中在0附近,在 $[-0.2\text{ m}, 0.2\text{ m}]$ 区间的频数最大,

且误差值越大,频数越小。所以,直线拟合算法中当考虑测量误差的标准差时拟合的方程最佳,此法可用作本激光测距系统的标定方法。

4 软件设计

4.1 总体设计思想

首先,下位机(即STM32)把测量的实验数据通过串口通信发送到上位机(即PC)。上位机通过MFC程序,从串口接收数据并写入文档,待数据传输完毕,再从文档中读出数据,用所选的直线拟合算法对数据进行处理,得出参数,并把参数转换成定点数,显示在窗口中。

然后,把得到的参数写入下位机的测距程序中,即可对测量数据进行实时标定,得到目标实际距离值。

4.2 下位机软件设计

下位机实现功能:把实验中从TDC芯片寄存器中读出的时间测量值通过串口发送给上位机。其中串口发送数据通过USART模块函数来实现。软件流程图如图3所示。

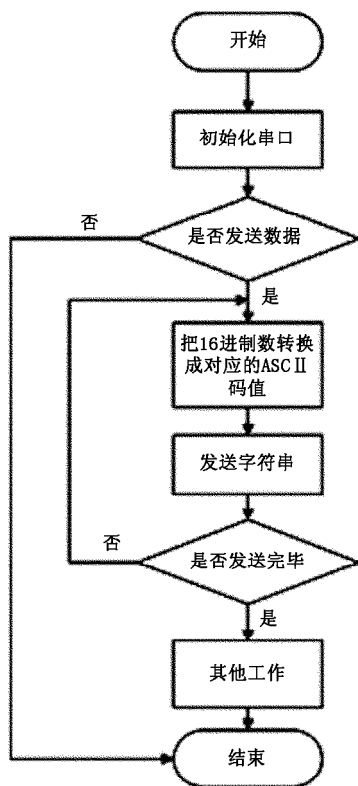


图3 下位机软件设计流程图

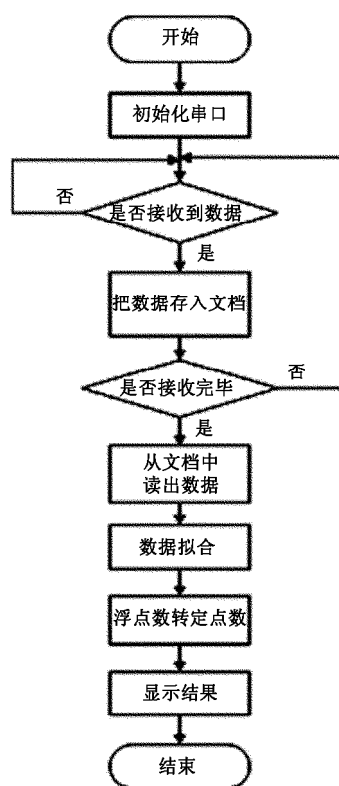


图4 上位机软件设计流程图

4.3 上位机软件设计

上位机实现功能:从串口接收下位机发送的数据,用直线拟合算法对数据进行处理,得出标定所需参数。其中从串口接收数据通过MFC中的

MSComm控件来实现。软件流程图如图4所示。

实现方法及步骤如下:

(1) 打开 Visual C++, 建立一个基于对话框的MFC应用程序,在对话框中添加控件,用 ClassWiz-

ard 为相应控件设置属性及添加变量如表 1 所示。

表 1 控件及其属性设置情况

控件	控件 ID	Caption	需要添加的变量和 变量类型
按钮	IDC_READ	读数据	
按钮	IDC_PROCESS	数据拟合	
编辑框	IDC_A		m_a CString
编辑框	IDC_B		m_b CString
编辑框	IDC_AA		m_aa CString
编辑框	IDC_BB		m_bb CString
MSComm 控件	IDC_MSCOMM1		m_ctrlComm control

(2) 初始化串口

在 CScmmTestDlg::OninitDialog() 函数中写入对串口的初始化语句, 串口初始化语句由 IDC_MSCOMM1 的 CMSComm 控制变量 m_ctrlComm 来设置串口控件属性^[7]。

(3) 从串口接收数据

MSComm 控件一般用事件驱动方式从串口接收数据, 也就是消息处理, 当串口有事件发生时, 程序调用消息函数来处理数据。在 ClassWizard 中为 MSComm 控件添加串口事件的消息处理函数 OnComm(), 在函数中添加代码, 实现从串口接收数据, 并保存到一个文本文档中(文档如果不存在则新建一个)。

(4) 从文档中读出数据

在 ClassWizard 中为“读数据”按钮添加响应函数 OnRead(), 在函数中添加代码, 实现把文档中的数据读出到一个数组中。

(5) 数据拟合

在 ClassWizard 中为“数据拟合”按钮添加响应函数 OnProcess(), 在函数中添加代码, 实现对接收到的数据进行数据拟合, 求出参数 a 和 b , 并使其显示在对应的编辑框中。

4.4 浮点数转定点数运算

直线拟合得到的参数 a 和 b 是浮点数, 而单片机做浮点数运算时间要比定点运算时间长得多, 会降低系统的实时性和精度, 不利于高速运动测距的应用, 所以有必要把浮点数运算转换成定点数运算。

TDC 寄存器中读出的时间测量值为 32 位定点数, 高 16 位为整数, 低 16 位为小数^[8]。只有把参数 a 和 b 也转换成这种形式的定点数, 才能使运算过程中数值的表示形式一致, 得到也是这种形式的结果。

转换成定点数运算后可以减少标定所需的运算时间, 提高本测距系统的实时性和精度。

5 实验结果

测距系统分别对 5, 10, 15, 20, 25 m 处的同一目标各测量 20 组数据, 下位机把实验数据通过串口发送到上位机, 打开上位机软件的操作界面, 先点击读数据, 再点击数据拟合, 则可立即在窗口上显示出参数 a 和 b 的浮点数值(10 进制)和定点数值(16 进制), 如图 5 所示。



图 5 上位机软件操作界面

然后, 把参数的定点数值写入 STM32 的测距程序中, 即可实时地把测量得到的时间值转换成对应的实际距离值。

实验对不同距离的同一目标进行多次测量, 标定后得到的距离值与用皮尺测量的距离值误差基本在 ± 0.3 m 之间, 考虑到还存在皮尺测量的误差, 标定得到的距离值与理论值符合得很好, 标定效果很好。另外, 由于测距系统本身有一定的测量误差, 导致标定得到的距离值与理论值之间有一定的偏差, 可以通过提高测距系统的测距精度和稳定性来改善。

6 结 论

研究了四种激光测距系统标定方法, 并通过对误差的比较选择了以直线拟合算法为核心的标定方法。本方法采用串口通信, MFC 处理等技术, 通过采集大量的实验数据, 并对数据进行直线拟合, 得到参数用来对系统进行标定, 使测距系统能实时反映目标距离值。通过实验验证, 该方法对本激光测距系统标定效果良好。而且操作简单, 界面友好, 使用方便, 能很好地解决本系统的标定问题, 有很好的应用前景。

参考文献:

[1] Yu Xiangdong, Zhang Zaixuan, Wang Jianfang. A mini high precision pulsed semiconductor laser range finder [J]. Laser & Infrared, 2008, 5(38): 458 - 461. (in Chinese)

- 余向东,张在宣,王剑锋.一种小型高精度脉冲式半导体激光测距仪[J].激光与红外,2008,5(38):458-461.
- [2] Zheng hua Ma,Min Li. Research on pulse hand-held laser rangefinder based TDC-GP2[C]. 2010 2 nd International Conference on Computer Engineering and Technology,6: 670-672.
- [3] Zhong Feng,Wang Liping,Yue Yujun. High-precision interval measuring chip TDC-GP2 in accurate distance measuring [J]. Industrial Control Computer, 2007, 20(4):69-72. (in Chinese)
仲峰,万莉萍,岳宇军.高精度时间测量芯片 TDC_GP2 在激光测距中的应用[J].工业控制计算机,2007, 20(4):69-72.
- [4] Zhao Jianlin,Hao Jianhua. An experimental calibration method for laser triangulation[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 1998, 16(3):387-389. (in Chinese)
赵建林,郝建华,等.激光三角测距的一种实验标定方法[J].西北工业大学学报,1998,16(3):387-389.
- [5] Ma Yan,Ju Hehua,Cui Pingyuan. Study of calibration algorithm for acuity laser rangefinder[J]. Computer Measurement & Control,2009,17(6):1232-1234. (in Chinese)
马岩,居鹤华,崔平远. Acuity 激光测距仪校准算法研究[J].计算机测量与控制,2009,17(6):1232-1234.
- [6] He Guangyu. Common numerical algorithms in Visual C++[M]. Beijing:Science Press,2002. (in Chinese)
何光渝. Visual C++ 常用数值算法集[M].北京:科学出版社,2002.
- [7] Wang Liping. The relization of serial port correspondence base on VC[J]. Computer Study,2007,(3):46-47. (in Chinese)
王立萍. 基于 VC 串口通信的实现[J]. 电脑学习, 2007,(3):46-47.
- [8] TDC-GP2 Universal 2 Channel Time-to-Digital Converter, ACAM[M].