

文章编号:0559-9342(2007)03-0049-03

基于超声波的车载土石方计量系统

吴穹,周建中,周万涛,胡白燕

(华中科技大学水电与数字化工程学院,湖北 武汉 430074)

关键词: 超声波;传感器;DSP(数字信号处理器);土石方

摘要: 为了测量车载土石方,针对土石方不规则的形状,利用超声波的发送和接收电路、TR4016系列传感器阵列和TI公司的TMS 2812 DSP一起构成了超声波车载土石方计量系统。对该系统的硬件设计、软件流程进行了介绍,并对实验误差进行了分析。

Vehicular Earthwork Calculation System based on the Ultrasonic

Wu Qiong, Zhou Jianzhong, Zhou Wantao, Hu Baiyan

(School of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074)

Key Word: ultrasonic; sensor; DSP(Digital Signal Processor); earthwork

Abstract: In order to calculate vehicular earthwork and aiming at the abnormality of the shape of the earthwork, we make use of sending and receiving circuit of ultrasonic, TR4016 series electrostatic transducer array, and TMS 2812 DSP from TI Company to make up a system to measure the earthwork. This paper presents the design of the circuit and program, and also analyzes the error of experiment.

中图分类号:TP212.9

文献标识码:A

0 引言

计量土石方有两种方法。第一种,测量土石方的质量,然后根据密度转换成体积。可以使用地磅对车辆进行称重,缺点是地磅不稳定,而且地磅有效测量寿命短,投资大,不经济;第二种,直接测量土石方体积。可以使用超声波或激光进行测量,但激光传感器造价昂贵,不适合大量采用,所以选择超声波传感器的方式。超声波是指频率高于20 kHz的机械波^[1],其特点是频率高,波长短,在传播中具有良好的束射性和方向性。超声波测距就是通过测量回波时间的长短和强弱来确定目标或障碍物的位置。

一对超声波传感器只能完成“点到点”的测量,即完成超声波传感器本身到待测点之间的距离的测量,无法得出土石方的体积。而采用超声波传感器阵列的形式,即用多个传感器依次顺序测量出每个超声波传感器到垂直正下方土石方表面的距离,然后经过距离到体积的变换(即体积=底面积×高),即可得出土石方的体积。

1 超声波土石方计量原理

1.1 超声波测距原理

超声波测距目前较为常用的方法是时间度越法 TOF (time of flight)^[2],即超声波发射器向某一方向发射超声波,在发射的同时开始计时,超声波在空气中传播,途中遇到障碍

物立即返回,超声波接收器收到反射波后立即停止计时,计算出测量时间 T ,根据超声波在空气中传播的速度 V ,则可计算出发射点到障碍物的距离 S ,即

$$S=(V \times T)/2 \quad (1)$$

系统向超声波发送传感器发出40 kHz的方波脉冲,传感器即可产生超声波。当超声波接收传感器接收到超声波时,将机械能转换为电信号,系统即可接收到回波信号。在系统停止发送脉冲群后,由于电阻尼,换能器不会立即停止发送超声波,在一定时间内仍然发送。由于这段时间的存在使系统不能够测量比较近的物体,形成所谓的“盲区”,因此需要对盲区时间产生的信号进行屏蔽,不同性能的超声波换能器的盲区有所差异。

40 kHz的超声波发送脉冲宽度约为125~200 μs ,即在一个调制脉冲内包含5~8个40 kHz的方波。脉冲发送间隔取决于要求测量的最大距离(5 m)及测量通道数。若在有效测距范围内,则在后一路超声波发出之前应当接收到前一路的反射波,因此按有效测距范围可以估算出最短的脉冲间隔发送时间,脉冲间隔时间 $t=2 \times 5/340=29.41 \text{ ms}$,实际应取 \geq

收稿日期:2006-10-18

基金项目:国家自然科学基金项目(50579022)

作者简介:吴穹(1982—),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要从事DSP嵌入式系统以及工业控制软件的研究。

30 ms。

由于超声波属于声波范围,其波速与温度有关^[9]。在测距时,由于温度变化,可通过温度传感器自动探测环境温度、确定计算距离时的波速 c , 精确地得出该环境下超声波经过的路程,提高了测量精确度。波速确定后,只要测得往返的时间 t ,即可求得距离。

1.2 土石方计量算法

为了得到施工车辆所承载的土石方的体积,就需要得到土石方的平均有效高度。一对超声波传感器只能完成“点对点”的测量,即完成超声波传感器本身到待测点之间的距离的测量。由于土石的表面是一个不规则的三维曲面,如果采用一对超声波传感器测量,所得到的高度会与实际的有效高度有很大误差,因此本系统设计成超声波传感器阵列的形式,即多对传感器(本系统使用了 31 对传感器)按照一定的规则分布在车厢的正上方,传感器阵列的范围覆盖整个车厢,首先按照 1~31 号传感器的顺序依次测量出每个超声波传感器到垂直正下方土石方表面的距离,然后通过 DSP(Digital Signal Processor, 数字信号处理器)中的算法得出土石方的体积,土石方测量原理见图 1 所示。下面说明其相关算法。

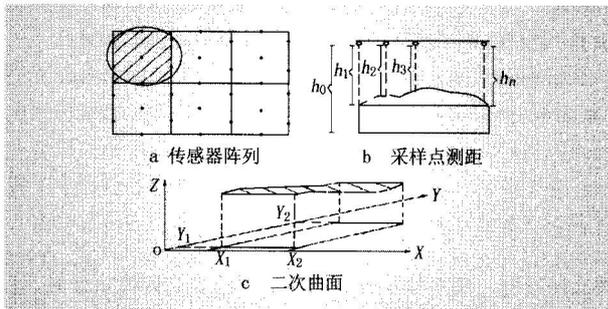


图 1 土石方测量原理

设传感器到运载车辆底的距离是 h_0 , 传感器采集到的从传感器到土方上表面个各点的距离分别为 h_1, h_2, \dots, h_n , 则相应各高程点的距离为 $z_1=h_0-h_1, z_2=h_0-h_2, \dots, z_n=h_0-h_n$ 。

由于运载车辆填充土方的上表面是不规则曲面,所以不能应用规则体积计算公式进行计算。解决该问题的思路是将运载车辆划分成等大的 6 块,通过计算每 1 小块土方体积然后相加进而得到整车土方的体积,下面单独分析每 1 块土方体积的计算。

采用二次曲面拟合法来计算每 1 个填充长方体的体积。一般对于小范围内的连续地面可以用二次曲面来表示:

$$Z = Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F$$

在以填充长方体底面中心为圆心, R 为半径的圆内,至少取 6 个高程点,拟合出曲面 Z , 利用曲面积分计算出填充长方体的体积,随着长方体底面中心的依次变化,所选取参加拟合的高程点也不同,拟合出的曲面 Z 亦随之变化,我们采用的拟合点个数为 7, 从中选取 6 个点带入二次曲面方程,利用矩阵算法,确定系数 A, B, C, D, E, F , 从而确定了二次曲面方程的表达式。

接下来计算该曲面所对应的长方体的体积:

$$V = \iint Z dx dy$$

其中投影面积为矩形 $x \in (x_1, x_2), y \in (y_1, y_2)$

$$V = \iint (Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F) dx dy$$

$$= A(y_2 - y_1)(x_2^3 - x_1^3)/3 + B(x_2 - x_1)(y_2^3 - y_1^3)/3 + C(x_2^2 - x_1^2)(y_2^2 - y_1^2)/4$$

$$+ D(y_2 - y_1)(x_2^2 - x_1^2)/2 + E(x_2 - x_1)(y_2^2 - y_1^2)/2 + F(y_2 - y_1)(x_2 - x_1)$$

将 6 个长方体体积相加即可得出总体积,即:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6$$

曲面拟合至少需要 6 个点,考虑到有的传感器可能因为某种原因没有接受到高程点的数值,所以多采集 1 个样点,若有两个高程点数值没有采集到则选择已有的两个高程点取平均内差出新的高程点,以满足 6 个高程点的需要。

2 系统硬件设计

本系统采用传感器阵列的形式(见图 1a), 控制器采用 TMS2812 DSP, 并采用嵌入式网卡芯片 W3100a 与上位机通信。DSP 控制 CPLD(epm7032ae)发出短暂的 40 kHz 的信号,经过 8 个多路选择开关 CD4052 依次驱动传感器阵列中的 31 个发送传感器输出超声波,计数器开始计时。反射后的超声波经过接收传感器,转换为电信号,通过放大和比较产生低电平脉冲,向 CPU 发出中断申请。在中断服务程序中,读取时间计数器的计数值,并结合测温电路测出的温度换算出当前的声波速度,算出发射到接收的距离。

本系统中采用数字化温度传感器 DS1820 来测量现场的温度;由于超声波的反射受反射界面的质地以及超声波反射角的影响。因此,在超声波测量模块中加入了三相步进电机,通过步进电机来调整超声波传感器阵列相对于车厢的位置,以此来获得最佳的发射和接收位置。该测距系统结构如图 2 所示。

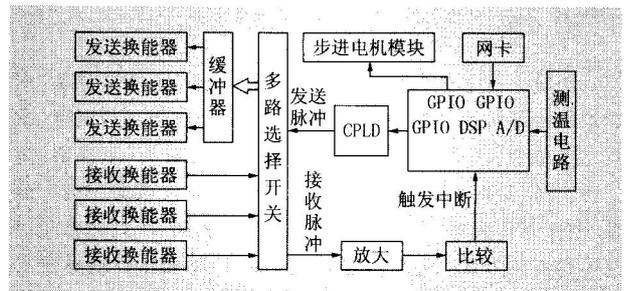


图 2 多路超声波测距系统结构(以三路收发电路为例)

2.1 超声波的发送和接收电路

CPLD 发出的方波脉冲电平为 3.3 V, 经过非门驱动芯片 74LS06, 转换成 5 V, 即可驱动发送传感器^[9]。由于超声波回波信号非常微弱,经过超声波传感器转换出来的电信号只有 mv 级,故需要对它进行放大之后才能检测到。本系统采用音频运算放大器 NE5532 对回波进行放大,然后输入电压比较器 LM311D 与基准电压进行比较。当高于基准电压的时候则输出一个脉冲信号给 DSP 的 CAP 中断,完成回波的检测。

2.2 超声波阵列电路

由于系统中传感器采用 31 对传感器,而在同一时间只能对一个采样点进行采样,即要对 31 对传感器进行编址。CD4052 是一个双刀双置开关,根据 A、B 引脚输入的电平值不同,将选择 $n_x(n_y)$ 引脚与 $x(y)$ 引脚进行连接($n=0, 1, 2$,

3)。x 连接发送传感器电路和 PULSE_OUT,y 连接接收传感器电路和 dsp 的 CAP 口。

1 片 CD4052 可以选择 4 路连接,8 片 CD4052 就可以进行 32 路选择,可以满足 31 对传感器的需要。CD4052 具有一个使能端 INH,低电平有效。因此,可以利用 INH 作为 8 片 CD4052 的片选信号,这样,一共需要 8 个使能信号和 2 个片内地址信号。

选用 EPM 7032AE CPLD 对 DSP 的 5 位地址线进行译码,产生选择阵列所需要的 $8+2=10$ 个信号。使用 8 个引脚作为多路选择开关的片选信号 INH_1...INH_8。使用两个引脚作为片内地址线 MUX_A,MUX_B。使用 1 个引脚作为 40 kHz 脉冲输出 PULSE_OUT。

3 系统软件设计

本系统软件分成两部分:主程序和中断服务程序。主程序完成系统初始化、土石方的计算以及与上位机通信等;中断服务程序完成采样点距离的测量。主程序流程图如图 3 所示。

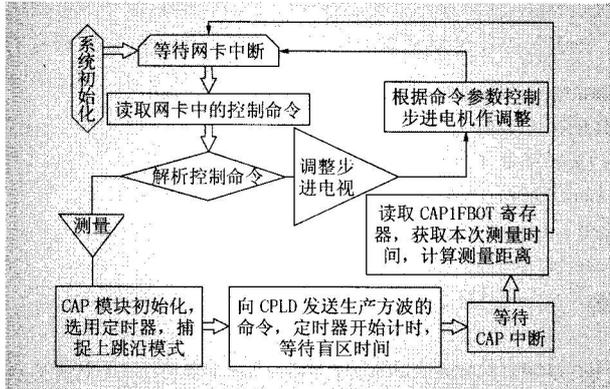


图 3 主程序流程

DSP 作为网络服务器,监听来自上位机客户端程序的连接。建立连接之后,由上位机向 DSP 发出控制命令。DSP 在接收到命令之后,先分析命令,如果是测量命令,则 DSP 根据命令参数对当前土石方进行一次测量,并把测量结果通过网卡发送给上位机;如果是调整步进电机的命令,则根据命令参数决定电机转动的方向,计算出电机转动的格数,从而对传感器阵列的位置做调整。

4 测量误差的主要来源

(1) 超声波波束相对采样点平面的入射角的影响。

(2) 超声波回波声强与待测距离的远近有直接关系,距离越远衰减越大,所以实际测量时,并不一定是第一个回波的过零点触发。

(3) 超声波传播速度对测距的影响。传播媒质的温度、压力、密度对声速都将产生直接的影响。因此需对声速加以修正。对于测距而言,引起声速变化的主要原因是媒质温度的变化。本系统采用温度传感器对现场温度进行测量,修正了温度变化对精度的影响。

(4) 影响误差的其他原因还包括现场环境干扰、时基脉冲频率等。

参考文献:

- [1] 孙申友,孙晓斌. 感测技术基础[M]. 北京:电子工业出版社, 2001.
- [2] 何希才. 传感器及其应用电路[M]. 北京:电子工业出版社, 2001.
- [3] 路景正,王建勤,杨绍国,等. 超声波测距仪的设计[J]. 传感器技术,2002:25.
- [4] 郭戈,胡征峰,董江辉. 移动机器人导航与定位技术[J]. 微计算机信息,2003,19(8):10-12.

