

文章编号: 2095-2163(2020)04-0248-05

中图分类号: TP399

文献标志码: A

# 车辆动态称重系统设计

于周斐, 杨旭, 刘健, 宋雨欣, 郭中旺

(天津职业技术师范大学 电子工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 如今汽车的超载现象非常严重,严重影响道路交通安全。现阶段的载重检测方案是在公路收费口、仓库出库口安装静态载重检测系统。静态载重检测系统存在着检测速度慢,现场安装复杂等问题,导致在公路收费口、仓库出库口存在着排队等待检测的拥堵现象。为解决这些问题,设计了一款车辆动态称重系统。该系统可以在车辆行驶过程中进行载重检测,系统包括动态载重检测传感器、数据收集系统、无线通信系统、电源系统、云端服务器、微处理器系统及人机交互系统。当压电薄膜检测到信号后,通过传感器信号处理电路进行信号调理,利用微处理器的AD模块将模拟信号转化成数字信号,在微处理器中进行积分运算,得出车辆载重信息,最后通过无线装置将数据发送到人机交互装置和云端服务器上,实现了车辆在动态过程中的载重测量。同比于静态车辆称重系统,动态的车辆称重系统具有检测时间短,检测速度快等优点,实现了不停车的载重检测。

**关键词:** 压电薄膜; 载重检测; 无线通信; 人机交互

## Design of Vehicle Dynamic Weighing System

YU Zhoufei, YANG Xu, LIU Jian, SONG Yuxin, GUO Zhongwang

(School of Electronic Engineering, Tianjin Vocational and Technical Normal University, Tianjin 300222, China)

**[Abstract]** Nowadays, the overload of cars is very serious, which seriously affects road traffic safety. At present, the load detection scheme is to install a static load detection system at the Highway toll station and the warehouse outlet. At the same time, because of the slow detection speed and complicated installation on the site due to the static load detection system, there is a queuing congestion at the toll gate and warehouse outlet. To solve these problems, a vehicle dynamic weighing system was designed. The system can carry out load detection during the running of the vehicle, which includes a dynamic load detection sensor, a data collection system, a wireless communication system, a power supply system, a cloud server, a microprocessor system, and a human-computer interaction system. When the Piezoelectric thin film detects the signal, it performs signal conditioning through the sensor signal processing circuit, converts the analog signal into a digital signal through the AD module of the microprocessor, and the vehicle load information is calculated by integral operation in the microprocessor. Finally, the data is sent to the human-computer interaction device and the cloud server through the wireless device which realizes the load measurement of the vehicle in the dynamic process. Compared with the static vehicle weighing system, the Dynamic Vehicle Detection System has the advantages of shorter detection time and faster detection speed. It can realize the load detection of the vehicle without parking the cars.

**[Key words]** piezoelectric film; load detection; wireless communication; human-computer interaction

## 0 引言

如今汽车的超载现象非常严重,影响道路交通安全。根据调查,目前汽车超载违规检查方式还停留在静态检测上,检测时间长、检测系统安装过程复杂并且工期长,费时费力。在收费站和仓库等需要载重检测的地方经常会出现排队等待载重检测的现象<sup>[1-3]</sup>。

为了解决这些问题,通过使用压电薄膜作为检测装置的核心设备,设计了一款安装快捷、可检测高速车辆载重的动态载重检测装置,并配合无线网络进行数据交互。

## 1 系统方案

系统共分为3个部分:

(1) 传感器部分包括载重检测传感器、摄像头传感器等。系统通过载重传感器检测车辆在行驶过程中的载重信息,摄像头对车辆进行拍照和记录;

(2) 手持控制装置,微处理器通过 Zigbee 网络和手持控制装置进行通信。手持控制装置上可以查看系统所采集的车体重量和图片数据;

(3) TCP 服务器,微处理器通过 WIFI 网络将打包的数据发送到云端服务器对数据进行记录和保存等操作<sup>[4]</sup>。

**基金项目:** 天津市大学生创新创业训练计划项目(201810066055)。

**作者简介:** 于周斐(1996-),男,本科生,主要研究方向:应用电子技术;杨旭(1968-),男,硕士,高级实验师,主要研究方向:通信与信息系  
统;刘健(1995-),男,本科生,主要研究方向:应用电子技术。

**通讯作者:** 杨旭 Email: 2242309105@qq.com

**收稿日期:** 2019-10-15

车辆动态称重系统结构图如图 1 所示。

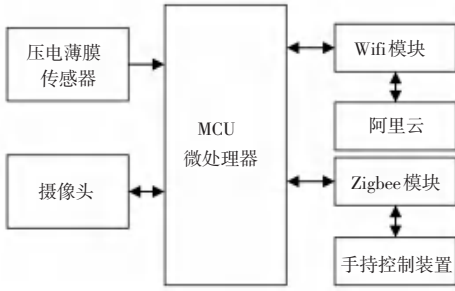


图 1 车辆动态称重系统框图

Fig. 1 Block diagram of vehicle dynamic weighing system

## 2 载重检测技术原理分析

### 2.1 动态称重原理分析

当有车辆通过时, 压电薄膜传感器在车轮对其压力的作用下产生电荷, 电荷经电荷放大模块转化为所需的电压信号, 电压信号经微处理器的 AD 模块将模拟信号转换成数字信号, 最后将数据打包通过无线网络进行数据传输。

为了与本系统实现简单电荷放大功能的要求相匹配, 对市场中常用的电荷放大模做了进一步改进。

下面介绍本次放大模块中用到的两种放大测量电路:

在电荷放大器模块中, 用  $C_s$ 、 $C_e$ 、 $C_i$  分别表示传感器极间电容值、传感器传输电缆的电容值、电荷放大器的输入电容值, 其输出电压  $V_{out}$  与输入电荷  $Q$  成正比,  $R_f$  表示放大器的反馈电导, 见公式(1)和公式(2)。电荷放大器电路图如图 2 所示<sup>[5]</sup>。

$$V_-(C_s S + C_e S + C_i S + G_i) = sQ + V_{out}(C_f S + G_f), \quad (1)$$

$$V_{out} = \frac{-R_f s}{R_f C_f s + 1} Q = \frac{-R_f ds}{R_f C_f s + 1} \quad (2)$$

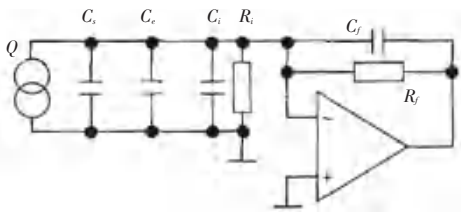


图 2 电荷放大电路

Fig. 2 Charge Amplifier Circuit

在电压放大器中, 输出电压与输入电压成正比的关系<sup>[6]</sup>:

设  $R_3 = 0$

$$V_+(C_s S + C_e S + C_i S + G_i) = sQ,$$

$$V_- = V_+,$$

$$V_-(G_1 + G_2) = V_{out} G_1,$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{R_i ds}{R_i \bar{C}_i s + 1} F. \quad (3)$$

其中, 输入电阻和反馈电阻分别为  $R_i$  和  $R_f$ , 输入电容和输出电容分别为  $C_i$  和  $C_f$ ,  $\bar{C}_i = C_s + C_e + C_i$ ,  $C_e$  为连接电缆的分布电容,  $C_s$  为压电器件电容, 施加在压电薄膜传感器上的力为  $F$ , 压电常数为  $d$ <sup>[3]</sup>。(不能从[3]开始)电压放大器电路如图 3 所示。

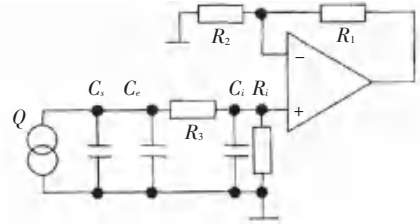


图 3 电压放大电路

Fig. 3 Voltage Amplifier Circuit

由以上计算得出结论: 电荷放大器的输出与传输电缆的电容和传感器无关, 电压放大器的输出与传输电缆的电容和传感器相关联, 时间常数和增益可自行调整, 因此, 本次设计中将电荷放大器简化为非理想情况下的电路模型。非理想情况下的电路模型如图 4 所示。

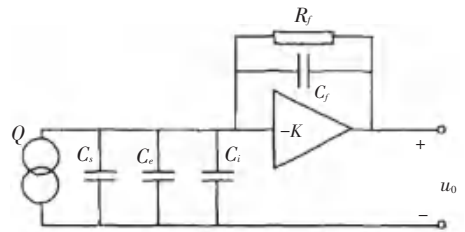


图 4 非理想运放下的电荷放大电路

Fig. 4 Charge Amplifier Circuit for Non-ideal Operational Dropping

$K$  是运算放大器的开环放大系数,  $R_i \rightarrow \infty$ ,  $C_f \ll R_f$ , 可得出:

$$u_0 = \frac{-KQ}{C_s + C_e + C_i + (1 + K) C_f}, \quad (4)$$

当  $K$  增大到一定程度时,  $(1 + K) C_f \gg C_s + C_e + C_i$ , 因此,  $u_0 = \frac{-Q}{C_f}$ ; 当  $K$  减小到一定程度时, 传输电缆的电容会对测量结果产生误差:

$$\delta r = \frac{-KQ(1 + K) C_f - \{-KQ/[C_s + C_e + (1 + K) C_f]\}}{-KQ(1 + K) C_f} = \frac{C_s + C_e}{C_s + C_e + (1 + K) C_f}. \quad (5)$$

为了减小测量误差, 可增大  $C_f$  和  $K$ ,  $C_i$  忽略不计。由上述讨论, 通过改变电路各原件参数, 最终可

获得比较理想的信号<sup>[7]</sup>。

### 2.2 软件分析

软件由微处理器中的软件和服务器中的软件两大部分构成。

在微处理器中,软件主要实现以下功能:

- (1)通过 AD 进行模数转换;
- (2)把得到的信号串行发送至服务器。

服务器中处理的软件部分以图形化编程的方式完成。

### 3 系统硬件电路设计

车辆动态称重系统硬件包括电源供电电路、单

片机最小系统电路、电荷放大器电路、触摸屏电路、无线通信电路、SD 卡电路。

### 3.1 微处理器最小系统电路

本设计采用的微处理器型号为 STM32F103ZET6,微处理器全部的电源引脚并联 20 pF 电容进行 3.3 V 供电,使芯片内部不同区域的电路运行。将外部晶振 Y2 两端并联 22 pF 电容,将时钟信号输入到微处理器之中,使微处理器在运行的时候有了时间依据。在程序的下载过程中,将微处理器的 SWDIO、SWCLK、GND 引脚连接到下载器中,便可以进行程序下载。如图 5 所示。



图 5 微处理器最小系统

Fig. 5 Minimum System of Single Chip Microcomputer

### 3.2 电源电路

系统通过 12V 外部电源进行供电,使用多级降压模块产生不同的电压。第一级采用 LM2596 降压芯片对外部电源进行降压,使第一级的输出电压为 5 V,系统电源直接对 LM2596 的输入端口进行供电。在输出端口,通过串联 68uH 电感、并联 IN5824

稳压管的形式稳定输出电压。在第二级中采用 AMS117 降压芯片,在芯片的输入引脚接入 5 V 电压,AMS117 芯片会在芯片内部自动将 5V 的电压转换成 3.3 V 电压,对电路进行供电。

### 3.3 电荷放大器电路

在电荷放大电路中,采用 LMC660 运算放大器

芯片,实现简易的电荷放大电路。在输入信号的第一级采用同相比例放大器电路,同时引入了电流串联负反馈,起到了稳定输出电流的作用。在输入信号的第二级,共划分了三个等级进行输出,CH1.1A1和 CH1.1A2 通道采用了积分运算放大器电路,使输出呈线性变化。CH1.1A\_TP 采用电压跟随器,起到了缓冲器的作用。在电路的芯片电源接口处,为防止电源不稳定造成的输出不稳定,加入了电容进行滤波<sup>[8]</sup>,如图 6 所示。

出呈线性变化。CH1.1A\_TP 采用电压跟随器,起到了缓冲器的作用。在电路的芯片电源接口处,为防止电源不稳定造成的输出不稳定,加入了电容进行滤波<sup>[8]</sup>,如图 6 所示。

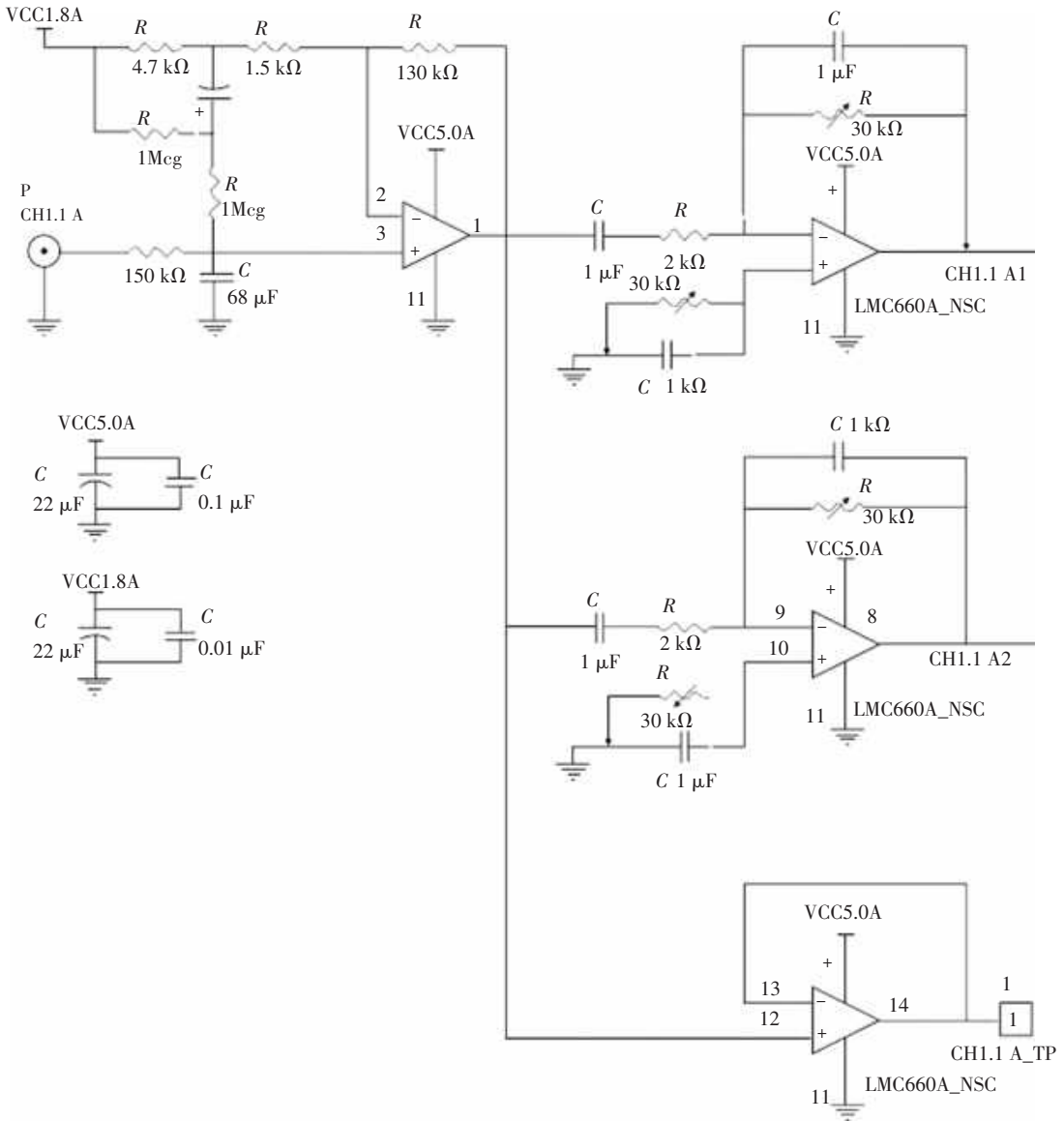


图 6 电荷放大器电路

Fig. 6 Charge Amplifier Circuit

### 3.4 TFT 液晶屏电路

TFT 液晶屏采用 16 根数据线、6 根指令线、1 根片选信号线、1 根时钟线进行控制。在电源供电处,通过并联电容的方式稳定电压,防止因为电压波动造成的烧坏屏幕。同时将数据线、指令线、片选信号线、时钟线直接连接到微处理器上,起到了驱动液晶屏幕的作用<sup>[9]</sup>。

### 3.5 无线通信电路

在无线通信电路中接入了 Zigbee 和 WIFI 共 2

种通信电路。Zigbee 模块和 WIFI 模块每个模块都是由 2 根信号线和 2 根电源线构成,供电采用 5V 供电方式,每个模块的信号线通过 USART 方式控制,在电路中将微处理器的 USRT 接口直接连接到 Zigbee 模块和 WIFI 模块的信号线接口。

### 3.6 SD 卡电路

SD 卡模块通过 SPI 的方式与微处理器通信,SD 卡的 SPI 总线和微处理器的 SPI 总线直接连接,使用电源电路的 3.3V 电压为 SD 卡模块供电。

## 4 系统软件设计

系统利用 Rt-Thread 实时操作系统设计。在本地采用微处理器数据采集,通过 Zigbee 进行本地的人机互动通信,通过手持的触摸屏通信,也可以通过手机连接阿里云进行数据管理,通过摄像头实时拍照。

### 4.1 微处理器程序设计

微处理器程序中包含了载重数据采集和摄像头数据采集,本地数据保存到 SD 卡中,将要传输给触摸屏和云端的数据打包并且上传。

在微处理器中,通过 Rt-Thread 采用实时操作系统对接收到的摄像头数据、AD 采集到的车辆载重数据、上位机的操作数据进行轮转调度,使其以较高的效率运行。同时对采集到的数据通过动态内存管理系统进行管理。

微处理器的数据上传过程中,通过 Rt-Thread 自带的 HTTP 协议与阿里云通信,将数据打包上传到云端服务器中。

微处理器接收到摄像头的的数据后,会将摄像头的打包数据直接以 JPG 的格式存储到 SD 卡中,同时把数据以 HTTP 的格式打包发送到云端进行保存。如图 7 所示。

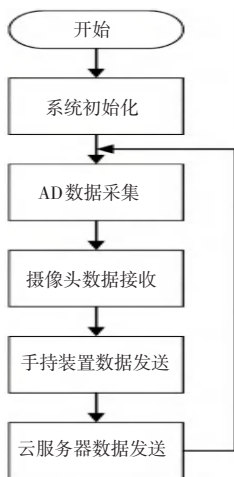


图 7 微处理器流程图

Fig. 7 Microprocessor Flow Chart

### 4.2 摄像头程序

摄像头数据采集采用 Openmv3。Openmv3 是用 Python 编写的程序。摄像头接收到微处理器发送的拍照指令后拍照,将照片数据发送到微处理器上<sup>[10]</sup>,如图 8 所示。

### 4.3 阿里云设置

在云端,利用可视化的编程,配置硬件的数据接口编写程序,对上传的数据进行识别,并将数据整理保存。

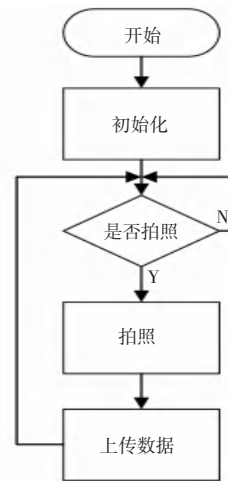


图 8 摄像头流程图

Fig. 8 Camera Flow Chart

## 5 结束语

本次设计的车辆动态称重系统经过测试,实现了车辆动态数据检测、对摄像头采集的数据进行传输、网络数据同步等设计目标。系统使用了特殊的压电薄膜传感器,达到以 70km/h 的速度进行重量检测。检测速度快且精确,不但实现了最初城市路段的检测,还适用于各种高速路的测量检测。但是,系统设计还有进一步的提升空间,后续的设计将着重以智能化为主,当检测到车辆出现超重过载情况,信息同步交通管理系统进行相应处罚,还可以在检测站添加自动扣费功能,使车辆进出收费路段可以实现全自动,更加方便快捷。

### 参考文献

- [1] 刘飞飞, 杨忠. 车辆动态称重系统的设计[J]. 衡器, 2004, 33(3):12-14.
- [2] 刘飞飞, 杨忠, 缪周. 基于 FLANN 的动态称重法[J]. 中国计量学院学报, 2004(3).
- [3] 宋颖, 杜彦良. 动态应变压电传感技术的研究及工程应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2008(5).
- [4] 蒋杏国, 李永新, 吕富勇, 等. 动态称重信号采集系统设计[J]. 电子设计工程, 2011, 19(06):119-121.
- [5] 唐晓颖, 尹昌. 车辆动态称重系统的研究[J]. 科学技术创新, 2011(2):4-4.
- [6] 石礼. 基于 PVDF 传感器的风机叶片健康监测方法研究[D]. 昆明理工大学, 2013.
- [7] 韦俊. 基于多传感器公路车辆动态称重系统设计与研究[D]. 广西大学, 2016.
- [8] 刘小锋, 冯志敏, 陈跃华, 等. 车辆动态称重压电信号的 SSA 降噪算法与试验[J]. 振动与冲击, 2018, 37(5):180-187.
- [9] 李冰莹. 数据平滑滤波在汽车动态称重中的应用[J]. 衡器, 2017(12):20-22.
- [10] 邱国阳, 朱立伟. 基于动态称重算法的车辆荷载分布规律的研究[J]. 公路工程, 2018.