

基于 ARM 的分布式过载仪系统设计

张 蒙 屠晓伟 杨庆华

(上海大学 机电工程与自动化学院 上海 200444)

摘 要: 为了对设备运输过程中受到的加速度与所处位置进行远程监控与记录,设计了一种基于 ARM 的分布式过载仪系统,过载仪硬件方面采用多传感器如陀螺仪、加速度芯片、GPS 芯片等。软件方面,信号的监控使用 WEB 技术,通过 GPRS 将数据传送至网页进行实时监控。实验部分,将设计的过载仪系统装载在自行车上,并在同一路段上进行多次数据采集测试。实验结果表明,该系统能够对被测对象的各种运动轨迹,路况和状态进行实时监测,其能够保证数据采集、处理与传输的可靠性与稳定性。

关键词: ARM; MPU6050; 过载仪; 物联网

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

ARM-based distributed system for overloaded detection

Zhang Meng Tu Xiaowei Yang Qinghua

(School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: In order to remotely monitor and record the acceleration and location of the equipment during transportation, a distributed overload detection system based on ARM is designed. The hardware consists of multi-sensors such as gyroscopes, acceleration chips, GPS chips, etc. In terms of software, the signal monitoring uses WEB technology to transmit data to the web page for real-time monitoring via GPRS. In the experiment part, the designed overload detection system is loaded on the bicycle and the data acquisition test is carried out several times on the same section. The experimental results show that the system can monitor the various motion trajectories, road conditions and states of the measured object in real time, and has reliability and stability for data acquisition, processing and transmission.

Keywords: ARM; MPU6050; overloaded detection system; internet of things

0 引 言

物联网是新一代信息技术的重要组成部分,也是“信息化”时代的重要发展阶段,为设备状态监控提供了新的途径和技术可行性,使得实时对传感器数据远程监控成为可能^[1-3]。物联网技术能实现对数据的传输、存储、云端展示等功能,目前已广泛应用于工业上各个领域^[4]。

一些精密贵重的仪器或者零部件在运输过程中要考虑其能承受的颠簸程度,大的颠簸或者包装出现问题都会使得仪器超过限定值并可能造成损坏,而目前并没有相关的研究与应用。如果在整个过程中设计一套完整的检测系统,利用物联网平台进行数据监控,用户可随时查看仪器的运输状态,将会大大提高设备运输过程中的质量管控^[5]。即使出现问题,后续的检测可根据监控平台还原从而判断其是否存在过过载的情况。

基于此,本文开发了基于 ARM 的分布式过载仪系统,

并通过 WEB 平台对传感器采集到的数据进行实时监控。该系统具有一定的创新性与实用价值。

1 系统总体方案

1.1 原 理

一般情况下,在精密仪器的运输过程中,最容易产生加速度过大的轴向是在垂直于地面的轴向(设为 z 轴)上,因此本文以 z 轴向上的加速度进行分析。根据惯导工作的原理,模块在静止不动时,依然会测到 z 轴向有重力加速度,而实际上模块外部合力为 0,加速度实际也为 0。因此,如果想要得到实际 z 轴向上的加速度,应根据模块的姿态进行补偿。下面分析不同情况下的重力加速度补偿方法。

设传感器在 x 、 y 、 z 轴向上测量值为 acc_x 、 acc_y 、 acc_z ,实际值为 a_x 、 a_y 、 a_z ,分析如下。

1) 当惯导模块处于图 1(a)所示水平状态时,只需要在 z 轴向上补偿 g 即可,如式(1)所示。

$$\begin{cases} a_x = acc_x \\ a_y = acc_y \\ a_z = acc_z - g \end{cases} \quad (1)$$

2)当惯导模块处于图 1(b)所示状态时,每个轴向补偿后的加速度计算如式(2)所示。

$$\begin{cases} a_x = acc_x - g \cdot \sin\theta \\ a_y = acc_y \\ a_z = acc_z - g \cdot \cos\theta \end{cases} \quad (2)$$

3)当惯导模块处于图 1(c)所示状态时,每个轴向补偿后的加速度计算如式(3)所示。

$$\begin{cases} a_x = acc_x + g \cdot \sin\theta \\ a_y = acc_y \\ a_z = acc_z - g \cdot \cos\theta \end{cases} \quad (3)$$

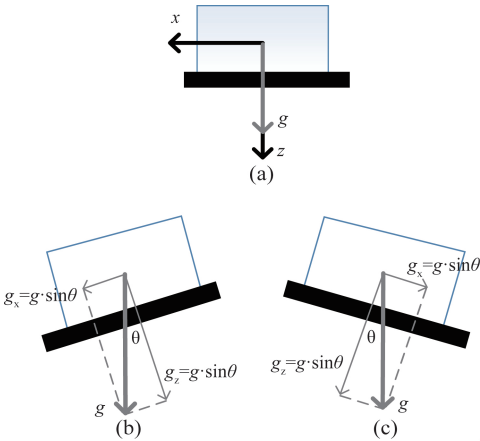


图 1 重力加速度分解

对于角度 θ 的计算,若直接采用陀螺仪测量得到的角速度进行积分,短时间内虽然能得到精确的角度值,但随着积分时间的延长,容易产生漂移;若仅采用重力加速度产生的轴向加速度的分量计算偏差角,由于噪声影响,无法得到准确的角度值。为了解决这个问题,许多学者提出了不同的计算方法,如陀螺仪随机误差的辨识与降噪^[6]、互补滤波数据融合^[7-8]、MEMS 小波降噪^[9]、改进型互补滤波的 MEMS 姿态解算等^[10]。根据算法的复杂度与融合精度,本文采用参考文献[11]的方法,过程如图 2 所示,输入值为传感器采集的三轴角速度与三轴加速度,采用四元数互补滤波算法进行姿态融合,输出为传感器沿两轴的偏转角。

1.2 方案设计

系统总体框架如图 3 所示,由数据采集层、数据处理层、网络传输层和应用层共 4 部分组成。其中,数据处理层微控制器 ARM 对数据采集层的 MEMS 传感器与 GPS 位置传感器信号进行采集,分析处理后经网络传输层的 GPRS/GSM 模块将数据发送至应用层 WEB 平台进行存储,并以一定形式展示给用户。在该平台上,用户可通过客户端登陆相关地址对所关心的数据进行查看与分析。

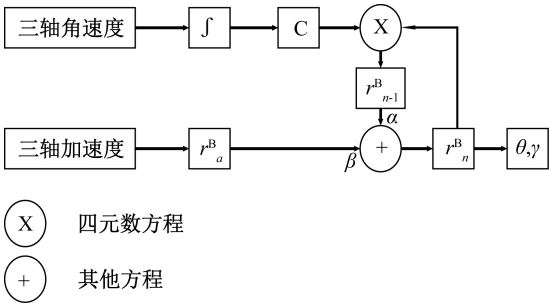


图 2 姿态融合算法

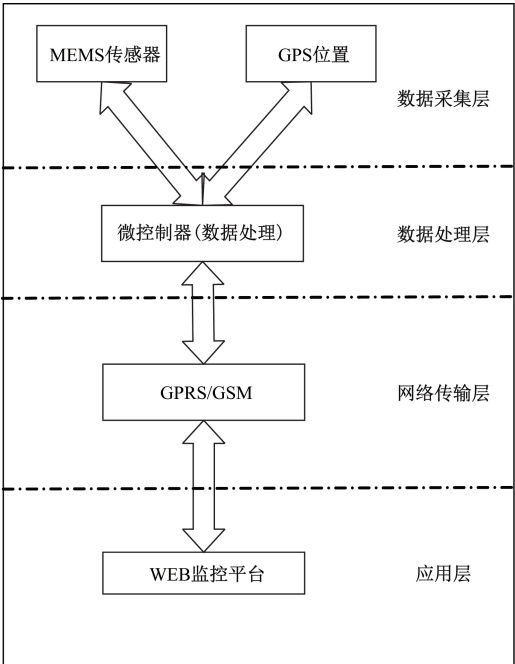


图 3 系统总体框架

2 硬件设计

2.1 过载仪整体结构

如图 4 所示,过载仪整体结构由 STM32 主控电路、GPRS 模块、GPS 模块、陀螺仪 MPU6050 模块组成,其中 STM32 主控电路采用 ST 公司的 STM32F103 系列芯片,控制 MEMS 传感器对数据进行采集与分析,同时读取 GPS 模块获取当前所在的位置信息。记录在不同的位置,3 个轴向上加速度的值,以分析设备过载情况与过载位置。

2.2 传感器数据采集模块设计

传感器模块主要由陀螺仪、加速度传感器、GPS 传感器组成。

陀螺仪和加速度传感器,本文采用 InvenSense 公司的 MPU6050 芯片;MPU6050 为全球首例整合性 6 轴运动处理组件,使用 I²C 协议通信时的速率可以高达 400 kHz,角速度全格感测范围为 $\pm 250^\circ/\text{s}$ 、 $\pm 500^\circ/\text{s}$ 、 $\pm 1\,000^\circ/\text{s}$

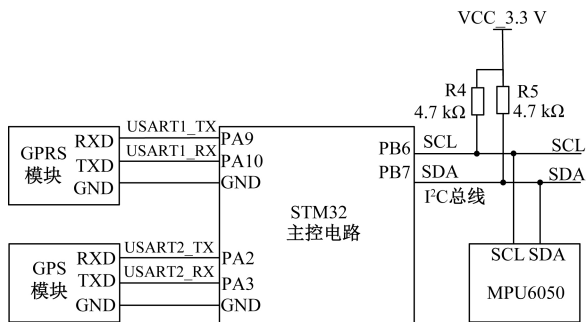


图 4 系统硬件结构

与 $\pm 2\,000^\circ/\text{s}$,可准确追踪快速与慢速动作,用户可编程式控制的加速器全格感测范围为 $\pm 2g$ 、 $\pm 4g$ 、 $\pm 8g$ 和 $\pm 16g$ ^[12],另外,该芯片留有一个从设备 I²C 接口,可以接入一个三轴的地磁传感器,构成 9 轴运动检测模块,使得采集的数据更加精确^[13]。

MPU6050 六轴传感器采用 3.3 V 电源,因此电源模块选用 ASM1117-3.3,ASM1117-3.3 芯片输入电压在 4.75~12 V,稳定输出 3.3 V 电压。输出电流 1 A 工作压差低至 1 V,线荷载调节:0.2% Max. 负载调节:0.4% Max.其中电源采用电池供电。因此能效管理也是过载仪考虑的一个重点^[14]。

MPU6050 六轴传感器外围电路如图 5 所示,此芯片可采用 I²C 和 SPI 两种通信协议,本文采用 I²C 总线与 STM32f103 主控电路进行数据通信。

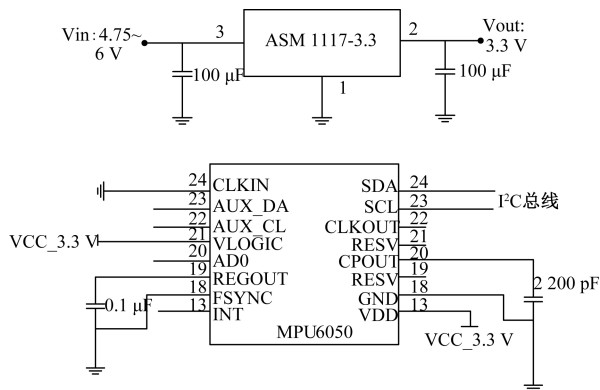


图 5 MPU6050 外围电路设计

位置 GPS 信息的采集选用 UBLOX 6 M GPS 模块,它具有高灵敏度、低功耗、小型化的特点^[15],适用于车载、手持设备,车辆监控、及其他移动定位系统的应用,本设计选用此模块采集位置信息。

主控触发协议:如图 6 所示,每帧数据包括 4 字节,帧头 0x55,帧尾 0xAA,命令位占一个字节,无符号数据类型,包括对 GPS 模块的启动,数据读取,工作模式设定,停止等。校验位占用一个字节,无符号数据类型,采用和校验方式。

2.3 数据传输模块

过载仪系统对于数据传输的实时性及传输速度要求都

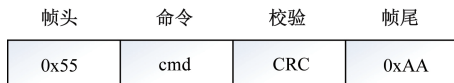


图 6 主控触发协议

不高,在实际试验中更加注重线路的可靠性和数据的稳定性,因此综合考虑这些因素,系统选用串口传输的方式进行数据传输。通过端口复用功能把 STM32F103 的 PA9、PA2 和 PA10、PA3 相应的设置为 TX、RX。

A6 GPRS 模块是一款 GPRS 数据传输核心模块,能够提供串口转 GPRS/短信息/语音通话等信息传输功能,被广泛应用于物联网/车载/电力环境检测等领域。

为了将采集的数据发送至物联网平台,本设计采用 GSM/GPRS A6 模组,该芯片支持 AT 指令,实现 TCP/IP 通信。

2.4 系统调试与试验

为了确保过载仪工作可靠性,作者对该系统中的关键总线进行了物理测试实验。其中 MPU6050 传感器与 ARM 交互采用的是 I²C 总线,其相关发送命令、数据、接收命令,数据波形如图 7 所示。

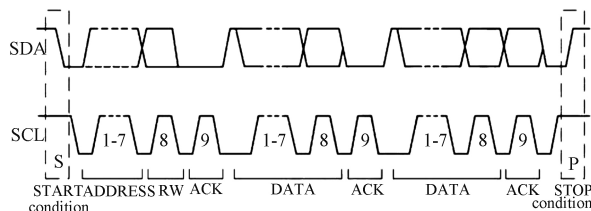


图 7 I²C 通信协议

图 8 所示为 ARM 微控制器读取 MPU6050 加速度的波形图,黄色为 SCL 信号,蓝色为 SDA 信号。程序中配置 SCL 频率为 10 kHz,可以看到 A、B 之间的 9 个 CLK,数据线上依次为 S(Start)信号,设备地址 1101000 (0),ACK 应答。后面为寄存器数据的读取。

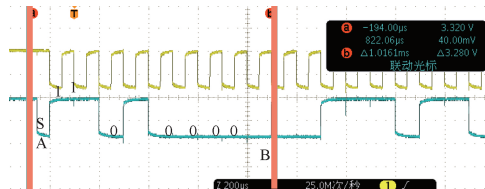


图 8 I²C 总线波形采集测试

A6 GPRS 模块与 ARM 交互采用的是 TTL 电平串口,与 RS232 串口协议兼容。其发送、接收命令和数据的格式如图 9 所示,由 1 个起始位,8 个数据位,无奇偶校验位,1 个停止位组成。

3 软件设计

数据采集、处理、传输流程如图 10 所示。

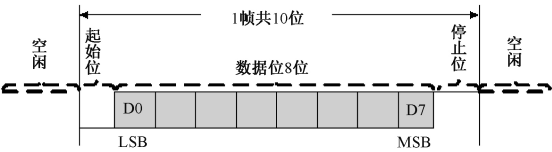


图 9 串口通信协议

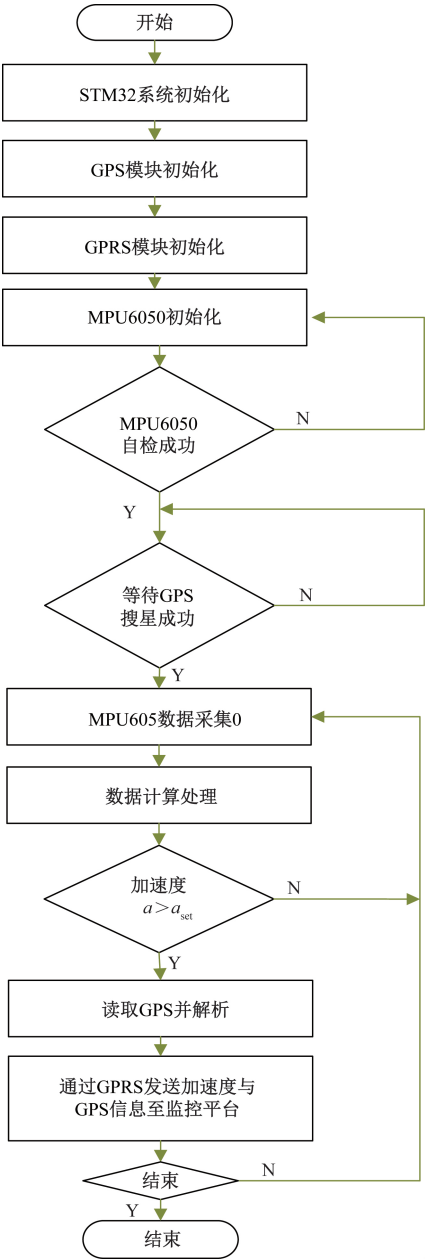


图 10 软件流程

首先进行 STM32 系统初始化(包括时钟配置,GPIO 设置,I²C 总线初始化,USART1 和 USART2 接口配置等),然后 GPS 模块初始化(连接测试,自动搜星);GPRS 模块初始化(网络附着、激活、通信测试);陀螺仪 & 加速度

模块初始化(MEMS 芯片自检,采样频率设定,加速度与角速度量程设定等)。

由于 GPS 冷启动可能需要几分钟的时间,因此应等待一段时间,通过 GPS 模组发送给 MCU 的数据帧进行解析,确定 GPS 的搜星状态,要注意的是 GSP 模组的天线应置于室外。

如果搜星成功,那么 MCU 通过 I²C 协议不断读取 MPU6050 芯片相应寄存器的加速度,角速度值,这两组数据滤波之后通过 1.1 节中引用的方法进行数据融合计算得到角 θ ,然后进行轴向上的重力加速度补偿,从而得到 3 个轴向上真实的加速度数据 a_x 、 a_y 、 a_z 。得到轴向上的加速度之后与设定的阈值进行比较,如果超过此阈值,那么解析此时的 GPS 数据,然后将此时的过载信息与位置信息通过 GPRS 模块上传至 Web 平台。Web 平台上会记录与展示发送过来的数据以及时间。

4 对比与试验

将本文设计的过载仪系统固定在自行车上,如图 11 所示,设定过载的加速度阈值为 2.5 m/s^2 ,设置采样频率为 50 Hz,MPU6050 芯片的量程设定为 $4g$,选择同一段有减速带的路面进行 3 次骑行测试,每次都以相近的速度骑行通过 11 个减速带,在 Web 平台上观察数据监控的情况,测试结果如表 1、图 12 和 13 所示。

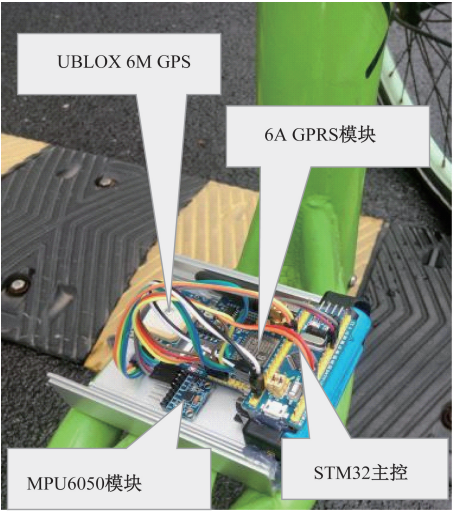


图 11 系统实验测试

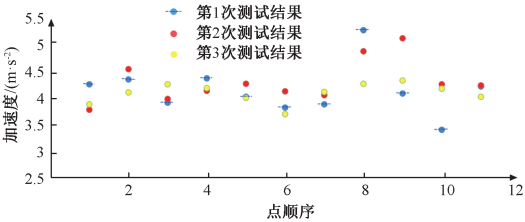


图 12 过载加速度数据采集结果

表 1 3 次测试的加速度结果 (m·s⁻²)

点顺序	第 1 次	第 2 次	第 3 次
1	4.25	3.78	3.81
2	4.40	4.61	4.20
3	3.95	4.00	4.25
4	4.41	4.20	4.23
5	4.10	4.25	4.02
6	3.92	4.18	3.76
7	3.94	4.10	4.19
8	5.25	4.86	4.24
9	4.15	5.10	4.40
10	3.38	4.24	4.28
11	4.23	4.24	4.01

表 1 所示为检测到的加速度超过阈值 2.5 m/s², 自行车经过减速带时记录下的数据, 用图 12 更直观表现出来。在图 12 中纵轴是系统过载时 z 轴向上所承受的加速度的大小, 横轴是数据上传的次序。数据中第 8、9、10 号点的加速度值相差较大, 是因为骑行经过减速带时的速度不一样, 速度越快加速度会越大。这也反映出该系统灵敏的特点。

图 13 所示为监控平台接收到的位置信息, 它表示当加速度超过阈值 2.5 m/s² 时系统所处的位置。红色的水滴形状代表定位点, 线条依次连接过载时的位置。与图 11 中点的颜色相对应, 表示 3 次测试的结果。可以看出, 3 次测试中相对应点的位置偏差很小, 偏差的大小是由 GPS 的定位精度与系统所处环境共同决定的。



图 13 过载位置数据采集结果

在这段路上总共有 11 个减速带, 可以看到在 Web 平台上每次测试展示的数据正好是 11 个。实验充分验证了该系统的可行性和正确性。另外, 在后续的研究中可以对位置数据进行定量分析与研究, 可以利用多种定位方式进行数据融合计算, 从而获取到更为准确的位置信息。还可以提高实验进行的条件, 如车速恒定经过减速带、减速带质量统一等, 使采集的数据更具有科学性, 实验结果更加严谨。

5 结 论

本文设计了一套设备在运输过程中承受的过载信号监控系统, 将理论算法与实际相问题相结合, 使用多传感器集成以及物联网技术等。由对比和实验中的数据分析可知, 该系统可以实时监控设备运动过程中存在的过载信号, 并同步上传至网络进行监控, 并且多次的试验结果表明该监控系统具有可重复性。该系统能稳定可靠运行, 实现数据的采集、分析、传输过程。因此本设计成功解决了被测对象的各种运动轨迹, 设备运输过程中的路况和状态的实时监测问题, 具有很好的创新性 with 实用价值。

当然本文研究同时存在一些不足之处, 比如对位置信息的分析还不够完善, 可以其进行定量分析等。这也是在后续研究中需要考虑的地方。

参考文献

[1] 侯一鸣, 徐泉, 李亚杰, 等. 基于物联网和工业云的选矿设备状态监控系统[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(9):1972-1982.

[2] 刘元, 吴彦文, 卢佳卉, 等. 基于物联网的自动报警智能拐杖系统的设计[J]. 电子测量技术, 2016, 39(9): 123-127.

[3] 美国国家仪器(NI)有限公司. 网络测试? 测试与测量物联网[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(12):10-12.

[4] 徐杨, 王晓峰, 何清漪. 物联网环境下多智能体决策信息支持技术[J]. 软件学报, 2014, 25(10):2325-2345.

[5] 刘秀丽, 徐小力. 风电场机组远程监测系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(5):794-801.

[6] 孙伟, 文剑, 张远, 等. MEMS 陀螺仪随机误差的辨识与降噪方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(1): 15-20.

[7] ZHANG L, WU Q S, GAO R. Design and implementation of vehicle attitude detection and 3D dynamic display system[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 397-400:1253-1257.

[8] 史露强, 何怡刚, 罗旗舞, 等. 基于传感器数据融合的倾斜角度测量方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(7): 1683-1689.

[9] 孙伟, 初婧, 丁伟, 等. 基于 IMU 旋转的 MEMS 器件误差调制技术研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(2):240-246.

[10] 陈孟元, 谢义建, 陈跃东. 基于四元数改进型互补滤波的 MEMS 姿态解算[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(9):1391-1397.

[11] XU Y X, LI Y Q. Application of the attitude estimation of the four-rotor aircraft based on quaternion and complementary filter[C]. The Fifth International Symposium on Test Automation &

Instrumentation, 2014; 428-432.

[12] 胡俊辉,黎洪生.基于 STM32 的粮仓温湿度无线监控网络系统设计[J].数码设计,2017,6(8):1-3.

[13] 丁力,宋志平,徐萌萌,等.基于 STM32 的嵌入式测控系统设计[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(S1):260-265.

[14] FEI Y F, SONG Y H, XU L, et al. Micro-IMU based wireless body sensor network[C]. The 33th Chinese Control Conference, 2014; 428-432.

[15] 远茂,刘桂雄,曾成刚.基于 GPS 的室外放射源信息监控系统设计[J].电子测量与仪器学报,2016,30(8):

1244-1254.

作者简介

张蒙,1992 年出生,硕士研究生,主要研究方向为智能控制系统。
E-mail: 565273751@qq.com

屠晓伟,1966 年出生,博士、教授、博导,主要研究方向为机器人智能控制和机器视觉系统研发。
E-mail: tuxiaowei@shu.edu.cn

杨庆华,1984 年出生,博士、副教授、硕导,主要研究方向为航电测控系统。
E-mail: yangqinghua@shu.edu.cn