

基于 STM32 的车辆行驶状态信息采集系统

席雷鹏,姚凯学,何 勇,杨黎娜

(贵州大学 计算机科学与技术学院,贵州 贵阳 550025)

摘 要:目前,共享汽车以及车险缴纳基本上都以时间为计量单位,而忽视了车辆的使用情况。同时,驾驶员的不良驾驶行为也是造成交通事故的主要原因。采用图像处理的方式受到了环境、耗电量、处理能力和驾驶员隐私泄露风险的限制。为了更好地监督车辆的使用情况,实现对车辆的有效管理,设计了一款车辆行驶状态信息采集系统。系统以 STM32F103ZET6 为核心处理器,通过 IIC 通信实现三轴加速度、三轴角速度信息的采集;通过串口通信和 DMA (direct memory access) 结合的方式实现经纬度、海拔高度等定位信息的采集;设计了通信协议对数据进行封装,使用 4G 通信方式进行下位机和上位机之间的数据交互;设计了 SDIO 通信的方式完成 4G 通信信号弱时数据在 SD 卡中的暂时存储;设计的电源模块为系统的各个部分分别提供 12 V、5 V 和 3.3 V 的稳定电压。经过测试,该系统能够稳定地实现车辆行驶中的加速度、角速度和定位数据的采集,为车辆的使用情况和驾驶行为分析提供了数据基础。

关键词:驾驶行为;STM32F103ZET6;物联网技术;传感器;信息采集

中图分类号:TP302

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2022)01-0154-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2022.01.026

Vehicle Driving State Information Acquisition System Based on STM32

XI Lei-peng, YAO Kai-xue, HE Yong, YANG Li-na

(School of Computer Science & Technology, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: At present, car-sharing and car-insurance payments are largely time-based, ignoring the use of vehicles. At the same time, bad driving behavior is also the main reason for traffic accidents. The image processing is limited by the environment, power consumption, processing ability and the risk of driver privacy leakage. In order to better monitor the use of vehicles and realize the effective management of vehicles, a vehicle driving state information acquisition system is designed. The system uses STM32F103ZET6 as the core processor to realize the acquisition of triaxial acceleration and triaxial angular velocity information through IIC communication. Through the combination of serial communication and DMA (direct memory access), the location information such as longitude, latitude and altitude can be collected. The communication protocol is designed to encapsulate the data, and the 4G communication mode is used to exchange data between the lower computer and the upper computer. SDIO communication is designed to temporarily store the weak data of 4G communication signal in the SD card. The power supply module provides 12 V, 5 V and 3.3 V stable voltage for each part of the system. After testing, the system can stably realize the acquisition of vehicle acceleration, angular velocity and positioning data, which provides the basis for the use of vehicles and driving behavior analysis.

Key words: driving behavior; STM32F103ZET6; Internet of Things; sensor; information collection

0 引言

汽车是人类生活中重要的交通工具,国内的汽车保有量逐年增加,道路基础设施的建设与汽车的增长量失调,这使得国内的道路交通拥挤和交通事故频发的状况日益凸显^[1-2]。同时,目前国内的车险缴纳以年为单位,忽视了汽车的使用情况,风险与费率的失衡积弊已久,对大量汽车的有效管理也变得越来越

重要^[3-6]。

随着物联网技术的成熟,物联网在各行各业得到了应用。智能网联汽车是互联网、汽车以及交通的融合,通过在车上搭载先进的传感器,使用现代网络技术、后台系统,从而实现车与人,以及其他物理实体之间的信息交互^[7-10]。通过车内摄像头来获取车辆的行驶状态信息,传输到后台服务器中,结合图像识别技术

收稿日期:2021-02-28

修回日期:2021-06-29

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2020]2Y007号)

作者简介:席雷鹏(1996-),男,硕士研究生,研究方向为嵌入式技术;姚凯学,教授,研究方向为计算机测控、嵌入式;何 勇,副教授,研究方向为嵌入式技术、无线传感器网络。

来分析驾驶员的驾驶情况,从而对车辆的使用情况有一个很好的把控^[11-15]。但是采集和处理视频图像需要很多的硬件资源,对通信速率有一定的要求,同时驾驶员的隐私也有泄露的风险。对此,文中提出了一款基于 STM32 的车辆行驶状态信息采集系统,能够实时采集车辆行驶中的三轴加速度、三轴角速度等车辆状态信息和车辆定位信息,为后续研究驾驶员的驾驶行为,实现对车辆的有效管理打下基础。

1 系统总体设计

车辆行驶状态信息采集系统通过外接三轴加速度陀螺仪传感器实现汽车行驶中的三轴加速度和三轴角速度的采集,利用 STM32 的 DMA 自动传输机制实现定位信息的采集,通过 4G 移动通信网络把采集到的数据传输到后台数据处理中心。系统主要由七个模块构成,分别是数据处理模块、加速度和角速度采集模块、定位信息采集模块、通信模块、数据存储模块、电源模块和上位机。其中,数据处理模块是整个系统的控制中心,电源模块从车载点烟口取电,为系统的运行提供稳定可靠的电源,数据采集模块负责各类信息的采集,数据存储模块在数据未能成功发送到上位机时对数据进行存储,通信模块用于下位机与上位机之间的交互,上位机模块用于数据的存储和可视化。系统的总体设计框图如图 1 所示。

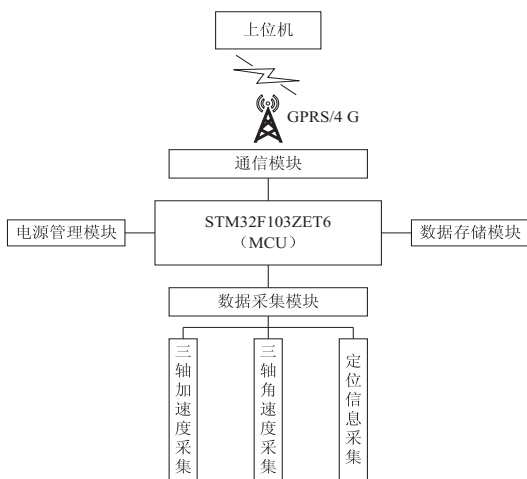


图 1 系统总体框图

系统在工作时,微控制单元(MCU)控制数据采集模块采集三轴加速度、三轴角速度和定位数据,同时将采集到的数据按照通信协议的格式进行数据帧的封装,通过无线通信将封装好的数据发送给上位机。车辆在行驶中会出现无线通信信号弱的情况,设计数据存储模块,以便在无线通信信号弱的情况下进行数据的暂时存储。由于通信模块需要 12V 的供电电压,从车载点烟口获得 12 V 电压进行稳压处理后向系统供电,同时采用降压模块将 12 V 电压转换为 5 V 和 3.3

V,为系统的其他部分供电。

2 汽车状态采集系统硬件设计

车辆行驶状态信息采集系统主要分为数据处理模块、加速度和角速度采集模块、定位信息采集模块、通信模块和数据存储模块,电源模块为系统的各个模块供电。

2.1 数据处理模块硬件设计

数据处理模块使用 STM32F103ZET6 作为微控制单元,是整个系统的控制中心,实现数据采集、数据上传和暂时存储等控制功能。使用 STM32F103ZET6 的 DMA(direct memory access)通过 USART2 循环采集定位数据,使用 IIC1 外设采集三轴加速度陀螺仪数据,将采集到的数据按照通信协议格式进行数据帧封装,通过 USART1 发送给通信模块。数据因无线通信信号弱而未能成功发送时,STM32F103ZET6 通过 SDIO 将数据发送给数据存储模块进行暂时存储。同时,STM32F103ZET6 的 PA0 引脚设计了一个可以使系统停止工作的按键 KEY1,PA0 引脚外接了下拉电阻,按键的一端连接 PA0 引脚,另外一端连接 3.3 V 高电平,当按键被按下时,PA0 引脚由低电平转变为高电平,通过设置该引脚的硬件中断检测按键被按下。

2.2 加速度和角速度采集模块硬件设计

系统使用 MPU6050 作为采集加速度、角速度的传感器,它能够检测三轴加速度、三轴角速度运动数据以及该芯片内部温度数据,可以使用 IIC 与其他芯片进行通信,IIC 通信的时钟频率最高为 400 kHz,测量加速度的最高分辨率为 16 384 LSB/g,角速度最高分辨率为 131 LSB/(°/s)^[16]。加速度和角速度采集模块原理图如图 2 所示。

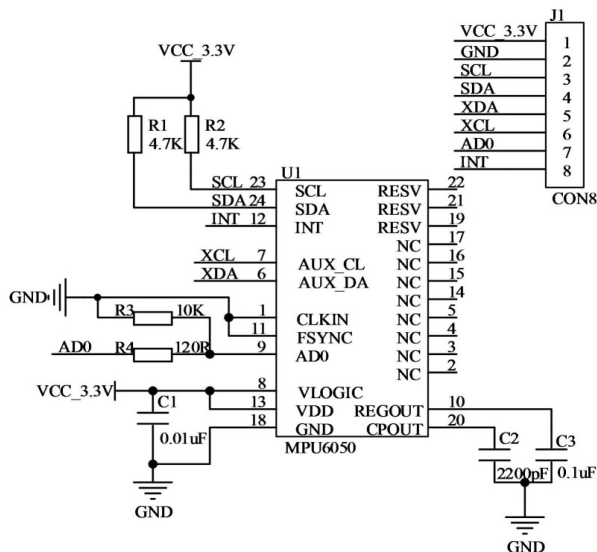


图 2 加速度角速度采集模块原理图

MPU6050 芯片采用了扁平的 QFN-24 封装,需要

使用 3.3 V 电压供电。STM32 使用 PB6、PB7 引脚与 MPU6050 进行 IIC 通信,所以 MPU6050 的 SCL、SDA 引脚外接 4.7K 的上拉电阻。MPU6050 的 AD0 引脚用于设定 IIC 通信地址,当 AD0 引脚接地时,MPU6050 的 IIC 通信地址为 0x68,接 VCC 时,可设置 MPU6050 的 IIC 通信地址为 0x69。当系统刚刚上电时,需要向 MPU6050 的 0x6B 地址的寄存器写入 0x00 解除休眠状态,由于目前汽车的最大加速度为 6.9 m/s^2 ,设置 MPU6050 的加速度量程范围为 $\pm 2 g$,则测量到的 x 轴加速度计算公式为:

$$a_x = \frac{\text{accel}_x}{16384}g$$

其中, a_x 表示 x 轴的加速度, accel_x 是从 MPU6050 中读出的原始 ADC 值,16384 是在加速度量程范围设置为 $\pm 2 g$ 时的加速度计分辨率, g 表示重力加速度。

设置 MPU6050 的角速度量程范围为 $\pm 250^\circ/\text{s}$,则测量得到的 x 轴角速度的计算公式为:

$$w = \frac{\text{gyro}_x}{131.072}$$

其中, gyro_x 是从 MPU6050 中读出的原始 ADC 值,131.072 是在角速度的量程设为 $\pm 250^\circ/\text{s}$ 时的陀螺仪分辨率。

2.3 定位信息采集模块硬件设计

系统使用 ATGM332D-5N 模块进行定位信息的采集,ATGM332D-5N 支持北斗和 GPS 双模定位,可使用 3.3 V ~ 5 V 电压供电,导航信息更新率可达 10 Hz,定位精度为 2.5 m,采用串口与 STM32 核心控制器通信。

在该设计中,使用 STM32 的串口 2 与 ATGM332D-5N 进行通信,由于 ATGM332D-5N 定位模块的定位速度以及串口通信速度相对于 STM32 的运算速度会慢很多,如果 STM32 直接通过串口读取定位数据,就不能够完成系统的其他任务,故通过 STM32 的 DMA1 循环采集定位数据,在 STM32 的内存中开辟 512 字节大小的缓冲区存储定位数据,设置 DMA 传输一半和全部传输完成中断,在中断发生时取走相应的一半数据并且清空中断,这样 STM32 就能处理系统的其他任务,同时为了避免 DMA 传输发生数据覆盖问题,在上一次定位数据还没有处理完成时,直接清空 DMA 传输完成中断。ATGM332D-5N 采集到的是 NMEA-0183 4.0 协议格式的数据,系统使用 NEMA 解码库来进行原始定位数据的解码,得到经纬度、速度、GPS 时间、定位精度等定位信息。

2.4 通信模块硬件设计

通信模块采用 4G 无线通信的方式来保证下位机与上位机之间的通信,同时也预留 TTL 串口通信的方

式。4G 通信模块采用了 WH-LTE-7S4 V2,可以通过串口 AT 指令建立与上位机的 TCP 远程连接,同时还可以通过 AT 指令进行网络透传、HTTPD、UDC 三种工作模式的配置。WH-LTE-7S4 V2 有电源、复位重启、工作状态指示、UART、SIM 和射频接口,该设计中使用到的模块引脚功能介绍如表 1 所示^[17]。

表 1 WH-LTE-7S4 V2 引脚功能描述

引脚名称	功能说明
VIN	模块供电正极,可供电压范围为 5 V ~ 16 V
GND	模块供电负极
WORK	模块正常工作状态指示
RESET	模块开关机
RELOAD	模块复位
UTXD1	串口发送引脚
URXD1	串口接收引脚
VSIM	SIM 卡的供电引脚
VSIM_DATA	SIM 卡的数据引脚
VSIM_CLK	SIM 卡的时钟引脚
VSIM_RST	SIM 卡的复位引脚

在该系统中使用 12 V 电压为 WH-LTE-7S4 V2 模块供电,在供电引脚接口前端增加 220 uF 的电解电容,以增加模块工作的稳定性。使用 STM32 的 PC0 连接该模块的 WORK,用于检测模块是否工作正常;STM32 的 PC1 连接模块的 RESET 引脚,用于模块的复位重启;STM32 的 PC2 连接模块的 RELOAD,用于模块恢复出厂设置;模块的 UTXD1 和 URXD1 连接 STM32 的串口 1,用于 AT 指令进行 TCP 远程连接。同时在天线接口和 SIM 接口增加 ESD 保护,避免外部接口电压过大而造成模块损坏,4G 通信模块的硬件电路结构框图如图 3 所示。

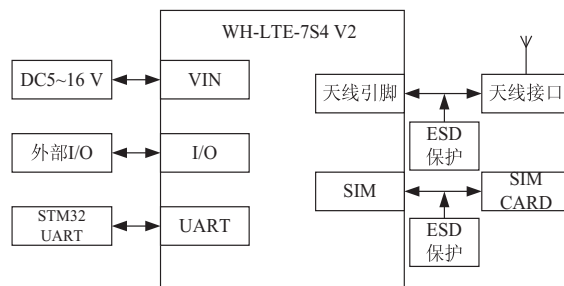


图 3 4G 通信模块硬件电路结构框图

2.5 数据存储模块硬件设计

在移动通信信号弱时会导致数据不能够发送到上位机,为了避免数据丢失,设计数据存储模块用于数据的暂时存储,当 STM32 空闲且无线通信信号良好时再进行数据的发送。系统采用 SD 卡来实现数据的暂时存储,STM32 与 SD 卡之间采用 SDIO (secure digital

input and output) 的方式进行通信,其最高支持 32 GB 容量的 SD 存储卡。SD 卡有 9 个通信接口,其中有 3 个电源接口、1 个时钟线接口、4 个数据线接口和 1 个命令线接口,SD 卡中有 8 个寄存器表示 SD 卡中的信息,这些寄存器的功能表示如表 2 所示^[18]。

表 2 SD 卡寄存器功能表示

寄存器	数据位宽	功能
CID	128	识别 SD 卡
RCA	16	表示相对地址,初始化时由 SD 卡自动生成
DSR	16	配置卡的输出驱动
CSD	128	表示操作 SD 卡数据的必要信息
SCR	64	提供 SD 卡特殊性的信息
OCR	32	表示操作 SD 卡的电压范围条件
SSR	512	表示 SD 卡的特征信息
CSR	32	表示 SD 卡的状态

在该系统设计中,使用 3.3 V 电压为数据存储模块供电,在每个数据线和命令线接口添加 10K 的上拉电阻,增加模块工作的稳定性。数据存储模块的 DAT0、DAT1、DAT2、DAT3 引脚分别与核心处理器的 PC8、PC9、PC10、PC11 相连接,用于进行数据的读写,在 SD 卡处于忙状态时,会把 D0 引脚拉低表示正在被使用。数据存储模块的 CLK 引脚与核心处理器的 PC12 引脚相连接,由核心处理器产生时序信号,来保证通信的正常进行。数据存储模块的 CMD 引脚与核心处理器的 PD2 引脚相连接,核心处理器通过该引脚向数据存储模块发送命令,同时也可以接收来自数据存储模块的应答信号。

2.6 电源模块硬件设计

电源模块为系统的工作提供稳定可靠的电能。系统在车载点烟口取得 12 V 电压的电能,经过稳压处理后向通信模块供电,同时使用 AMS1117-5.0 作为降压稳压器,将 12 V 电能转换为 5 V,为数据处理模块供电,使用 AMS1117-3.3 将 5 V 电压降为 3.3 V,为数据采集和数据存储部分的模块供电,在各级电压处增加电容确保供电的稳定性。使用 CR1220 作为 STM32F103ZET6 的 VBAT 引脚的备用电源,当系统主电源有效时,RTC 时钟外设由主电源供电,在主电源掉电后,由 VBAT 引脚向 RTC 外设供电,确保时钟数据不会丢失。

3 软件设计

3.1 系统软件设计

系统软件使用 C 语言编写,移植 FatFS 文件管理系统至下位机,从而实现对 SD 卡中数据的有组织管理。系统软件设计的工作流程是在系统上电后进行硬

件初始化,之后进行数据的采集、发送和存储。

FatFS 文件管理系统是基于小型嵌入式设备开发的,具有轻量化的特点,其具体实现与底层的 I/O (input/output) 介质的读写实现相分离,通过为其编写 I/O 读写的驱动程序,实现外部存储介质存储空间的有效管理。在该系统中,使用 SD 卡进行数据因 4G 通信模块问题而导致的发送失败时的暂时存储,依据 SDIO 通信的方式分别编写获取 SD 存储器状态、初始化存储器、写入和读取扇区的芯片驱动函数。系统上电后,检测 SD 卡是否有文件管理系统,若没有则进行格式化操作和文件管理系统的创建,在格式化操作和文件管理系统创建成功后进行一次读写测试验证 SD 存储模块正常。系统把车辆行驶状态数据存储在一个“1.txt”的文本文件中,初次使用没有该文件则进行文件的创建。当需要向存储模块中写入数据时,在文件末尾进行数据追加并进行换行操作,确保一行存储一条数据,在数据取出时先取出前面部分的数据,在确保从 SD 卡中取出的数据被正常发送出去后,从 SD 卡中的该文件中删除该条数据。

STM32 核心处理器使用串口 2 与定位信息采集模块进行通信,在进行 STM32 的串口 2 初始化时,其波特率的配置要与定位信息采集模块的串口通信波特率保持一致以确保通信的正常进行。定位信息采集模块在接收到一次卫星定位信息后,会主动将定位数据发送到 STM32 的串口 2。为了避免 STM32 等待定位数据而产生时间浪费,系统使用了 STM32 的 DMA 自动传输机制来配合定位信息的采集,串口 2 在接收到数据后会触发 DMA1 的通道 6,从而在不需要核心处理器参与的情况下完成数据的接收,在数据接收完成后通过中断的方式提醒 STM32 核心处理器,STM32 在响应了定位数据采集中断后设置标志位,在主程序中对定位数据进行打包处理。

系统在上电后,STM32 首先初始化 GPIO 口、串口、DMA、硬件 IIC1、SDIO、RTC 实时时钟中断等。在 STM32 自身硬件外设初始化完成后,系统通过串口 1 对定位信息采集模块进行初始化操作。通过 STM32 的 IIC1 外设对 MPU6050 传感器进行初始化操作,对 MPU6050 的初始化操作包括解除休眠状态、设置陀螺仪采样率和设置加速度计采样率。通过串口 1 对 4G 通信模块进行初始化操作,采用 AT 指令设置上位机的 IP 地址,建立与上位机的远程连接,将 4G 通信模块设置为网络透传模式。系统在数据采集模块初始化完成后再次检测数据能否正常采集,在检测失败时进行系统报错。系统成功初始化后,每隔 100 ms 会产生一次中断,系统会采集数据并且通过 4G 通信模块向上位机发送数据,当数据未能成功发送给上位机时,系统

会把数据暂时存储在存储模块之中。当 KEY1 按键被按下时,系统停止工作。系统数据采集流程如图 4 所示。

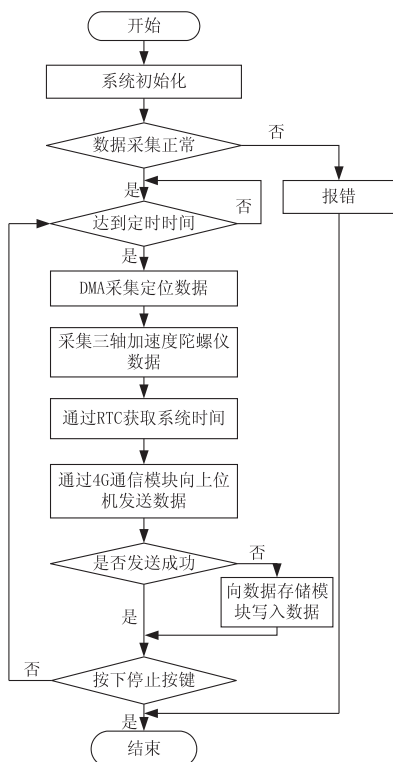


图 4 系统数据采集流程

在系统空闲且存储模块中有存储的数据时,系统会从存储模块中取出一条数据通过 4G 通信模块向上位机发送,在该条数据发送成功后从存储模块中删除该条数据。存储模块中的数据上传流程如图 5 所示。

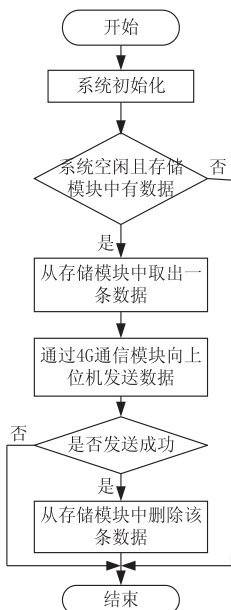


图 5 存储模块数据上传流程

3.2 通信协议设计

通信协议用于保证下位机向上位机传输数据的正确性,数据传输采用串行的方式进行传输,数据字节的

发送采用大端法。

该系统采集的数据有汽车行驶中的三轴加速度数据、三轴角速度数据以及定位数据,同时,需要加入时间信息来记录数据的采集时间。其中,定位数据包含经度、纬度、海拔高度以及表示定位精度的信息。为了对不同的设备以及不同的行车记录 and 不同数据进行区分,避免因网络中不同数据帧到达上位机的顺序不同而造成数据的混乱,为每台设备分配设备编号,对每次行车记录 and 不同数据设置相应的编号标识。

从整体上看,系统的数据帧由起始标识、数据编号标识、数据长度标识、数据、CRC 循环检验码和结束标识六部分组成。起始标识和结束标识用于识别每一个数据帧,设备编号和数据 ID 组成了数据编号标识,数据长度对传输数据的长度进行了标识,在进行数据解析时配合起始和结束标识进行数据帧识别的验证,循环冗余检验码用于验证数据的正确性,确保数据在传输的过程中没有发生错误。通信协议中的数据帧格式如表 3 所示。

表 3 通信协议数据帧表示

STA	DEVICEID	DATAID	LEN	DATA	CRC	END
1 字节	2 字节	4 字节	1 字节	n 字节	2 字节	1 字节

STA 固定为 EAH,表示一帧的开始;DEVICEID 是设备编号,占用两个字节,用于区分每个下位机;DATAID 用于标识该条数据信息,占用四个字节,其中 20~31 位表示第几次行车记录,每次下位机上电启动会生成一条新的行车记录,在溢出后复位为 1,0~19 位是该条数据采集时的编号;LEN 表示数据长度,大小为一字节;DATA 为数据,其长度由 LEN 表示,单位为字节,其中 01H 表示后面的四字节数据为时间戳,02H 表示后面的数据为三轴加速度和三轴角速度数据,占用 24 个字节,03H 表示后面的数据为定位数据,占用 48 个字节;CRC 是循环冗余检验码,由 DEVICEID 设备编号到 DATA 数据域生成,大小为两个字节;END 用于表示一帧数据的结束,其值固定为 E5。

4 系统测试

该系统测试通过串口测试下位机是否能正常采集数据,系统完成硬件初始化后,将采集到的数据通过串口发送给上位机,使用串口调试助手接收数据,系统采集数据测试结果如图 6 所示。系统设置采集频率为每秒 10 次,经过测试,系统能够稳定地采集数据。

5 结束语

设计实现了车辆行驶状态信息采集系统,以 STM32F103ZET6 为核心处理器,采集车辆行驶中的

三轴加速度、三轴角速度以及定位数据,通过自定义的通信协议将数据传输到上位机,同时设计数据存储模块来进行通信信号不好时的数据暂时存储,在可以正常发送数据时再进行数据的上传,确保不会发生通信信号弱而导致的数据丢失。系统通过 STM32 自带的 RTC 外设来进行计时,为采集到的每条数据进行时间

标识,从而实现对车辆行驶状态信息的有效管理。电源模块的设计保证了系统断电后时钟的正常工作,同时,系统每隔一周利用定位数据中的卫星时间对 STM32 的 RTC 系统定时器进行一次时间矫正以确保系统时间的正确性。系统能够实现汽车行驶状态信息的稳定采集,操作方便,成本低,具有很好的使用价值。

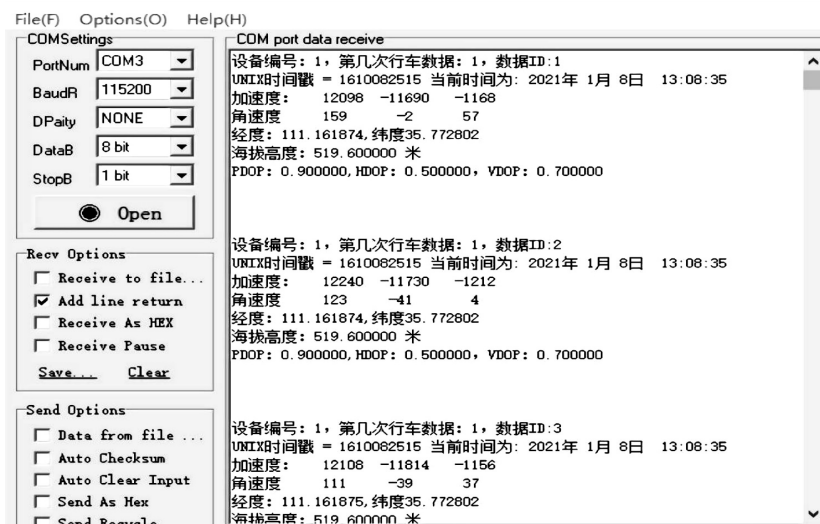


图6 数据采集测试结果

参考文献:

- [1] 京讯.公安部:截至2020年6月,全国汽车保有量2.7亿辆,平均每5人拥有1辆[J].商用汽车,2020(7):9.
- [2] 张雨.大数据背景下的城市道路交通拥堵问题研究[J].机电信息,2019(29):162-163.
- [3] 韩长印,郑洁文.驾驶行为保险与车险规范重构[J].上海交通大学学报:哲学社会科学版,2020,28(5):32-46.
- [4] 杜飞.全球卫星定位系统在车辆管理中的应用[J].时代汽车,2020(12):185-186.
- [5] 顾嘉.基于移动终端的驾驶行为分析系统设计与实现[D].上海:复旦大学,2014.
- [6] 邓忠.基于车载自组织网的车辆状态识别与驾驶行为评估[D].广州:华南理工大学,2015.
- [7] LIU Xinmin, LUO Yongjian. A research on the internet of vehicles architecture and its key technologies based on intelligent hardware[C]//Proceedings of 2018 international conference on computer science and software engineering (CSSE 2018). Nanjing, China: [s. n.], 2018:259-267.
- [8] 徐邓.嵌入式系统在物联网中的运用分析[J].大众标准化,2020(24):196-197.
- [9] ZHANG Sicheng, ZHOU Yanling. The research and implementation of remote-monitoring intelligent vehicle system based on internet of things[C]//Proceedings of 2018 international conference on data science and information technology (DSIT 2018). Singapore: ACM, 2018:133-137.
- [10] SHANG Zunyi, LIANG Yanbo, SU Hang. Development and application research on the internet of vehicles[C]//Proceedings of 2018 5th international conference on business, economics and management (BUSEM 2018). UK: Francis Academic Press, 2018:116-119.
- [11] 肖心远,李怀俊.基于多信息融合的道路客运车辆及驾驶员监控系统研究[J].机电工程技术,2018,47(6):85-88.
- [12] WANG Dan, PEI Mingtao, ZHU Lan. Detecting driver use of mobile phone based on in-car camera[C]//2014 tenth international conference on computational intelligence and security. Kunming, China: IEEE, 2014:148-151.
- [13] WANG Wenshuo, XI Junqiang, ZHAO Ding. Learning and inferring a driver's braking action in car-following scenarios[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 67(5):3887-3899.
- [14] 官法明.交通驾驶员脸疲劳驾驶行为优化图像识别[J].计算机仿真,2015,32(11):199-202.
- [15] 李光东,程进,周子肖,等.基于深度学习的不规范驾驶行为智能识别系统[J].传感器世界,2020,26(2):7-11.
- [16] 陈伊凡,胡立夫,冯俊.一种基于姿态识别的老人监护系统[J].中国科技信息,2020(15):80-82.
- [17] WH-LTE-7S4 V2-hardware_V1.0.0. pdf[EB/OL]. 2018-09-29. http://www.mokuai.cn/Down/WH-LTE-7S4%20V2-hardware_V1.0.0.pdf.
- [18] Part1_Physical_Layer_Simplified_Specification_Ver2.00. pdf[EB/OL]. 2006-09-25. https://www.sdcard.org/cms/wp-content/themes/sdcard-org/dl.php?f=Part1_Physical_Layer_Simplified_Specification_Ver2.00.pdf.