

轨道检测 GPS 数据采集系统硬件设计与实现

傅勤毅, 刘芝平, 贾岩

中南大学交通运输工程学院, 长沙 410075

摘要 针对传统轨道检测系统效率低、成本高的不足,应用GPS全球定位技术、GPRS无线通信技术和CAN总线技术,提出一种新型轨道检测方案,并对GPS数据采集系统的关键模块进行了设计。GPS数据采集系统由4个基站GPS模块和1个流动站GPS节点组成,实现了相对测量与绝对测量的统一,提高了检测精度;基于GPS的数据采集实时准确,更新率高达50 Hz;利用GPRS进行无线数据传输,方便快捷,实时高效;利用CAN提高了通信速率(高达1 Mbps),且可靠性高、性能稳定;通过Flash存储器进行数据缓存,再传至上位机进行存储与处理,系统容量高达500 G,数据处理简单高效。

关键词 轨道检测;GPS数据采集;硬件设计

中图分类号 U216

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.02.004

Hardware design and implementation of GPS data acquisition system for track inspection

FU Qinyi, LIU Zhiping, JIA Yan

School of Traffic & Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China

Abstract Owing to the low efficiency and the high cost of the traditional track inspection system, a new track inspection system is designed on the basis of the GPS global positioning technology and the GPRS wireless communication technology. Four primary modules of the hardware of the GPS data acquisition system are designed and explained in detail, including the GPS data acquisition module, the GPRS communication module, the single-chip microcomputer minimum system and the power transition module. The GPS data acquisition module consists of four GPS modules in the base station and a GPS node in the moving station that realizes the unity of the relative and absolute measurements and improves the positioning accuracy. It is shown that the GPS data acquisition operates in real-time and is accurate, and the data update rate is as high as 50 Hz; The application of the GPRS communication module makes the data transmission convenient and quick; The data are firstly cached in the flash storage, are uploaded to the upper computer for storage and processing afterwards, the system capacity is up to 500 G, the data processing is simple and efficient.

Keywords track inspection; GPS data acquisition; hardware design

作为世界上高速铁路发展最快、系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运营速度最高、在建规模最大的国家,中国将全面迈入高铁时代^[1]。高精度、高效率、低成本的轨道检测系统,对于掌握轨道变形情况、控制轮轨相互作用、减少机车车辆冲击摇晃、保障行车安全、延长机车使用寿命

等方面有着至关重要的作用^[2]。国内外常见的轨道检测设备主要有轨道综合检测列车和轨检仪等^[3]。比较典型的有中国的GJ系列轨检车、日本的East-i系列轨检车、德国的GEDO CE系列轨检仪、瑞士的GRP系列轨检仪等。作为一种高效的轨道状态检测设备,轨检车成本较高,且轨道不平顺原因

收稿日期:2014-07-09;修回日期:2014-11-25

基金项目:国家自然科学基金项目(50975789, 51275531)

作者简介:傅勤毅,教授,研究方向为轨道检测与故障诊断,电子信箱:15200826420@163.com;刘芝平(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为轨道检测,电子信箱:978891375@qq.com

引用格式:傅勤毅,刘芝平,贾岩.轨道检测GPS数据采集系统硬件设计与实现[J].科技导报,2015,33(2):39-44.

难以明确,导致检测数据无法直接用于指导线路养护与维修^[4]。轨检仪虽然能精确测量轨道内部几何参数,但难以测得轨道外部几何参数,难以满足大范围长线路的轨道检测精度要求^[5]。

GPS全球定位技术是近年来迅速发展起来的,在道路工程、交通运输、地质测量、汽车导航等诸多领域广泛应用的一门新技术^[6],具有高精度、全球性、全天候、低成本、方便灵活的特点^[7]。本文应用GPS技术,研究一种高效率、低成本的新型轨道检测方案及其硬件设计。

1 系统结构及工作原理

基于GPS的轨道检测系统以高精度GJY-T-4A轨道检查仪为基础,将相对测量与绝对测量结合,以实现高效率、低成本的轨道检测。采用相对测量方式得到轨道内部几何参数,主要有里程、轨距、水平(超高)、方向、高低等。以GPS全球定位技术和GPRS无线通信技术为主要手段,将相对测量与绝对测量融为一体,通过上位机实时处理数据,获取轨道外部几何参数,即轨道中线及轨面高程。比较实测的轨道几何参数与线路设计值,根据技术指标即可评定轨道工程质量状况。基于GPS的轨道检测系统结构如图1所示,该系统的检测流程如图2所示。

2 硬件设计

基于GPS的轨道检测系统的硬件主要有GPS数据采集模块、GPRS通信模块、单片机最小系统和电源转换模块。

GPS数据采集模块分为基站GPS数据采集模块和流动站数据采集模块,基站直接应用GPS模块采集信号;而流动站则应用GJY-T-4A轨检仪,在CAN总线上增加GPS数据采集节点作为数据采集模块。硬件系统总体结构如图3所示。

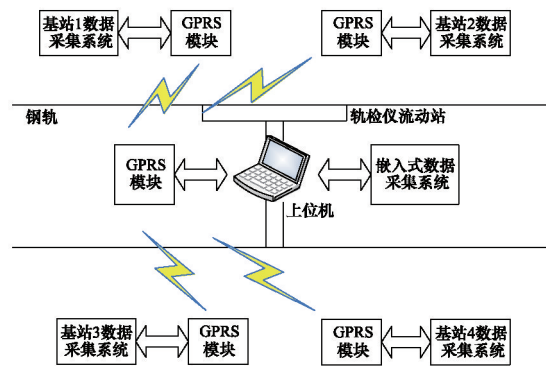


图1 轨道检测系统结构

Fig. 1 Overall structure of track inspection system

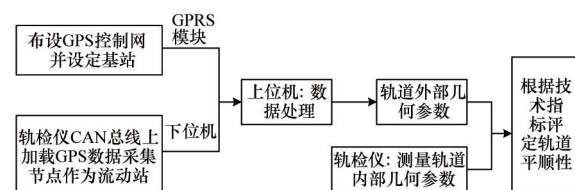


图2 轨道检测流程

Fig. 2 Schematic diagram of track inspection

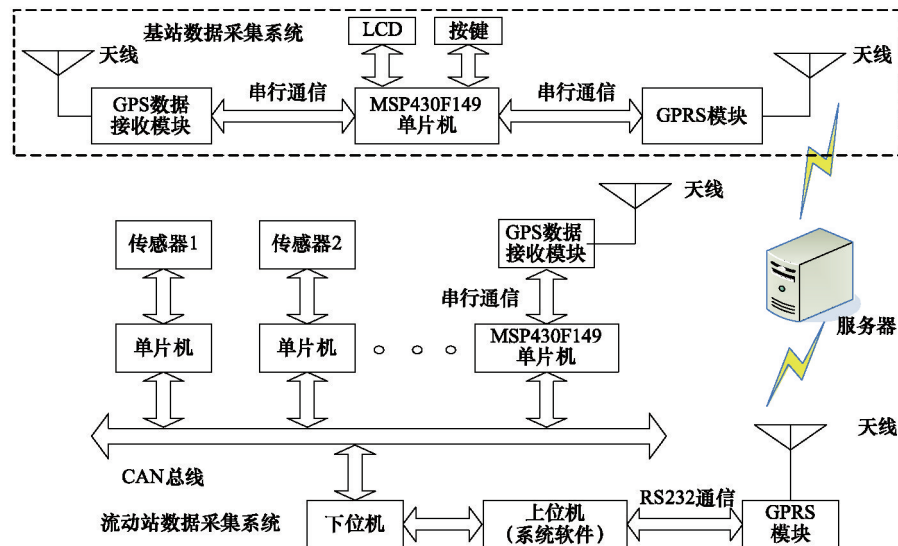


图3 硬件总体结构

Fig. 3 Schematic diagram of whole hardware

2.1 主要器件

硬件系统中,单片机的主要任务是控制GPS模块采集数据以及GPRS模块发送数据。考虑到供电方式为锂电池供电,系统需要选用一个超低功耗的单片机;为了简化设计,降

低GPS数据采集系统的体积,所选用的单片机应集成许多模拟电路外设(如ADC、DAC、模拟比较器等)和常数字模块(如SCI、SPI、I²C看门狗、定时器等);同时,单片机还应具有较高的运行速度,以便快速处理数据。根据上述要求,选用TI公

司的MSP430F149单片机,其主要特点^[8]:具有5种低功耗超低电流省电模式;具有直接进行数据存取的I²C总线和高速转换速率的10/12位A/D转换器,指令周期为125 ns,能够高速处理数据,并支持控制、中断及复位;具有集成SCI、SPI模块,并支持SCI、SPI模式的通用串口。

GPS模块作为系统的重要组成部分,它的性能直接影响系统定位的精度及速度^[9]。根据系统整体设计要求,GPS模块在保障定位精度和定位速度的前提下功耗较低。设计选用高精度的BD970 GNSS模块,该模块的位置数据和原始测量数据更新率高达50 Hz,GPS双频工作模式下功耗为1.4 W,RTK工作模式下其水平定位精度为8 mm+1ppm,垂直定位精度为15 mm+1ppm,为快速高精度GPS定位创造了条件。

GPS采集的数据信息通过GPRS模块在GPRS网络中传送,因此GPRS模块的数据传送速度尤为重要^[10]。设计选用SIM300C GPRS模块进行数据传输,该模块集成了一个完整的映射电路和基带处理器,可实现即插即用,使模块具有超低功耗和高传输速度,在SLEEP模式下,电流典型值仅为2.5 mA;上、下行数据传输速率分别高达42.8和85.6 kbps。该模块集成了充电电路,适用于锂电池供电的系统中,且其体积小,尺寸仅为50 mm×32 mm×6.2 mm,能够满足应用中的空间需求。

系统需要对GPS采集的数据进行实时存储,以便查看、分析和处理历史数据,因此存储器应具有容量大以及快速读写数据的特点,并且可以在掉电、复位等干扰下仍具有可靠的数据保护功能。由于Flash存储器^[11]具有容量大、可靠性高、成本低以及无电流供应的条件下也能长久地保存数据等优点,相对于传统的存储介质具有一定的优越性。设计选用AT45DB321C-TI Flash存储器,该存储器功耗低,其典型读取电流为10 mA,典型待机电流为6 mA;存储容量大,可存储4 M字节;读写速度快,工作频率可高达40 MHz。同时,AT45DB321C-TI Flash存储器兼容SPI接口,而MSP430F149单片机具有硬件支持的SPI接口,从而简化了两者的接口设计。

2.2 模块设计

2.2.1 单片机模块

MSP430F149单片机作为基站数据采集系统的主控单元,应具有时钟电路、复位电路、BSL下载电路和JTAG接口调试电路。时钟电路为单片机提供准确的时钟信号。复位电路使系统上电后很好地复位,确保单片机一直处于稳定的工作状态。BSL编程器用于实现参数修改和程序下载。JTAG接口调试电路主要用于烧写FLASH和调试程序。具体设计如下:

1) 时钟电路设计中,选用32768 Hz的时钟信号,以满足低功耗要求;选用8 MHz的时钟信号,以满足串口通信波特率要求。

2) 常用的RC复位电路虽然具有经济性,但其工作很不稳定,可靠性不高^[12]。设计采用SP708S复位芯片实现单片机的复位,以提高系统的稳定性和可靠性,并在电源输入引脚加

1个0.1 μF的电容来实现滤波,用以减小输入端受到的干扰。

3) MSP430F149单片机支持JTAG协议^[13],标准的JTAG接口是4线制,即TMS(模式选择)、TCK(测试时钟)、TDI(数据输入)和TDO(数据输出)。在4线制JTAG接口实际应用中,选用TI公司定义的常规14针JTAG接口方式,用于程序的调试与仿真。JTAG电路引脚TCK、TMS、TDI、TDO分别与单片机引脚TCK、TMS、TDI、TDO相连接;BSL电路引脚分别与单片机引脚对应连接,若单片机有外部电源,则BSL电路引脚VCC无需连接到单片机引脚DVCC上。

4) BSL编程器是根据TI公司的引导程序协议开发的属于MSP430 FLASH系列单片机独有的开发工具。设计采用BSL编程器实现对单片机内存的修改和程序下载,并可在JTAG的熔丝烧断的情况下再次编程,可有效保护用户程序。

2.2.2 电压转换模块

系统采用7.4 V锂电池作为总供电电源,由于各功能模块所需电源电压不同,所以需要电源转换电路^[14]进行电压转换。考虑MSP430F149单片机和GPS模块的供电电压为3.3 V,单片机外围电路需要5 V电压供电,而GPRS模块需要3.4~4.5 V电压供电,设计分别采用稳压芯片MIC29302WT、SPX29300和TPS7633转换电源电压给各模块供电。电源电压转换如图4所示。

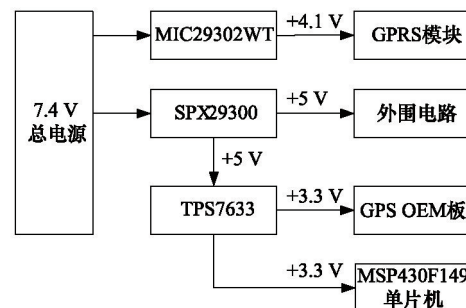


图4 电源电压转换示意

Fig. 4 Voltage conversion

2.2.3 GPS数据采集模块

基站中,由于单片机和GPS模块的工作电压均为3.3 V,所以两者间无需电压转换,可直接相连。GPS模块电路如图5所示,GPS模块引脚COM1_RX与单片机的UTXD0连接,GPS模块引脚COM1_TX与单片机的URXD0连接。

流动站中,在CAN总线上增加GPS数据采集节点作为数据采集模块。GPS数据采集节点由MSP430F149单片机、天宝BD970 GPS、CAN控制器SJA1000、隔离CAN收发器CTM1050组成。GPS数据采集节点结构如图6所示,Tx、Rx分别代表SJA1000 CAN控制器与CTM1050 CAN收发器的CAN_Tx引脚和CAN_Rx引脚,通过MSP430F149单片机控制GPS模块进行数据接收与处理,同时初始化CAN控制器,以实现数据的收发。另一方面,配备CAN收发器以隔离CAN总线上的若干节点。

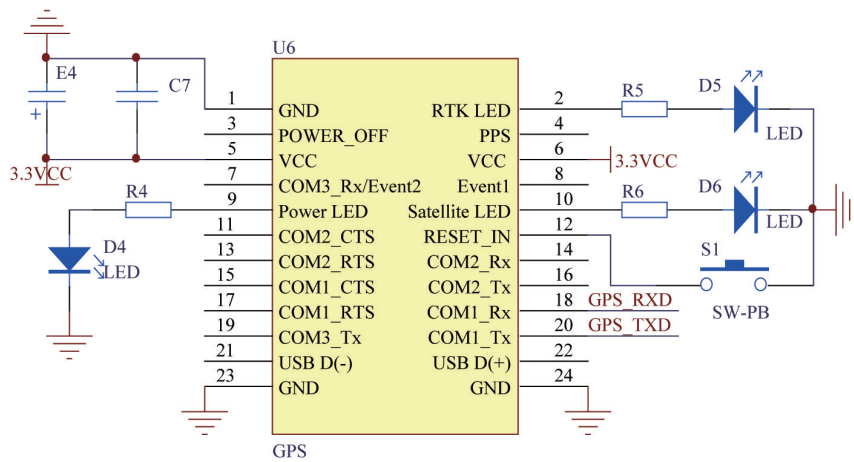


图5 BD970 GPS模块电路

Fig. 5 Circuit of GPS module BD970

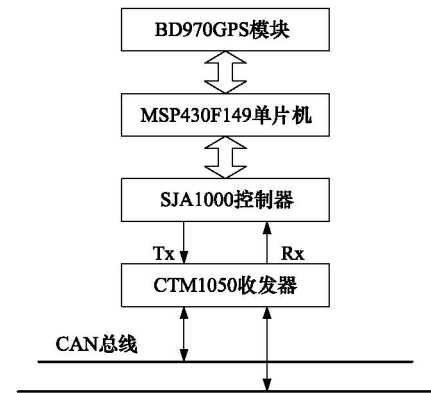


图6 GPS数据采集节点结构

Fig.6 GPS data acquisition node

设计采用SJA1000芯片作为CAN控制器,如图7所示。该芯片具有CAN输出驱动器可编程、微处理器接口灵活、错误计数器可读、出错警告界限可编程等优点。在传统设计中,为了增强CAN总线^[5]节点的抗干扰能力,常采用2个高速光耦(6N137)实现电气隔离,采用1个电源隔离模块实现电

源隔离,这种隔离方式存在体积大、成本高等缺点。本设计选用CTM1050高速CAN隔离收发器实现带隔离的CAN收发电路,该模块集成电源隔离、电气隔离、CAN收发器以及CAN总线保护于一体,可以很好地实现CAN总线上节点的电气隔离、电源隔离,提高节点的稳定性和安全性。

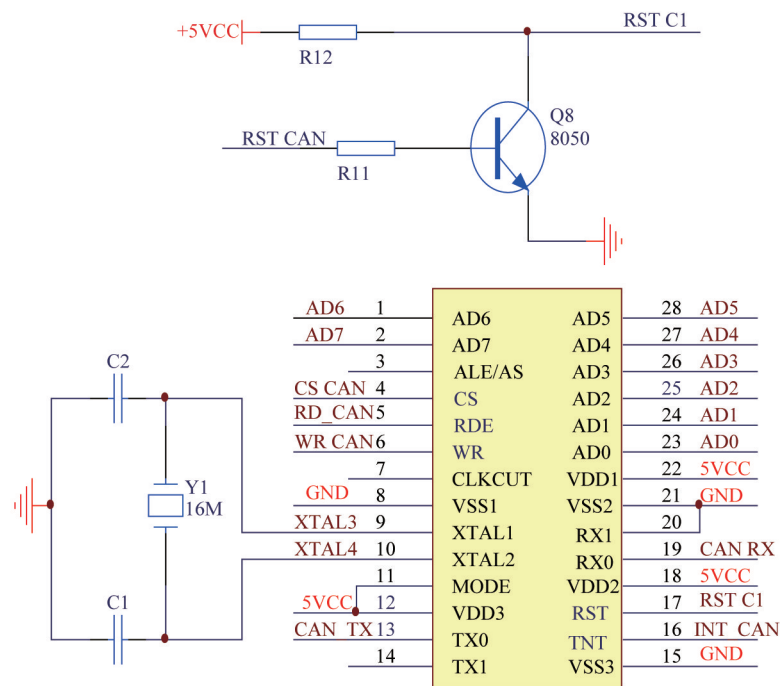


图7 SJA1000 CAN控制器

Fig. 7 Circuit of CAN controller SJA1000

CTM1050 CAN收发器电路如图8所示,其中,SJA1000控制器的AD0~AD7连接MSP430F149的P5端口,中断输出引脚、复位引脚、片选信号引脚分别连接到单片机的P1.2、P1.3、

P1.4; CTM1050模块的RXD、TXD引脚直接与SJA1000的RXD0、TXD0连接,CTM1050模块的CANH、CANL连接到外部CAN总线上。

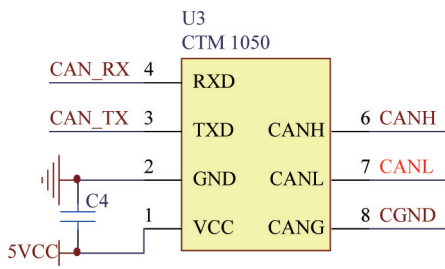


图8 CTM1050 CAN收发器

Fig. 8 Circuit of CAN transceiver CTM1050

2.2.4 GPRS通信模块

GPS数据采集系统中,采用SIM300C GPRS模块传输数据时,模块会自动搜索网络,为便于观测GPRS网络状态,设定LED指示灯与GPRS网络状态相对应,如表1所示。GPRS通信模块电路如图9所示,模块17引脚PWRKEY与单片机的

12引脚PWRKEY连接,模块41引脚RXD与单片机34引脚UTXD1连接,模块43引脚TXD与单片机35引脚URXD1连接,当仅使用RXD、TXD通信时,RTS要通过470Ω电阻接地。流动站中,GPRS模块通过RS232串口与上位机相连,将数据经下位机传递给上位机。

GPRS模块是机卡分离的移动终端设备,要登录到移动网络上,必须通过其SIM卡接口扩展外部SIM卡座。设计采用MOLEX-91128连接器作为SIM卡座。

表1 LED与对应的GPRS网络状态

Table 1 Network state of GPRS module and LED pattern

| LED | GPRS网络状态 |
|-----------------|--------------|
| 熄灭 | SIM300C不运行 |
| 64 ms亮/800 ms灭 | SIM300C找不到网络 |
| 64 ms亮/3000 ms灭 | SIM300C找到网络 |
| 64 ms亮/300 ms灭 | GPRS通信 |

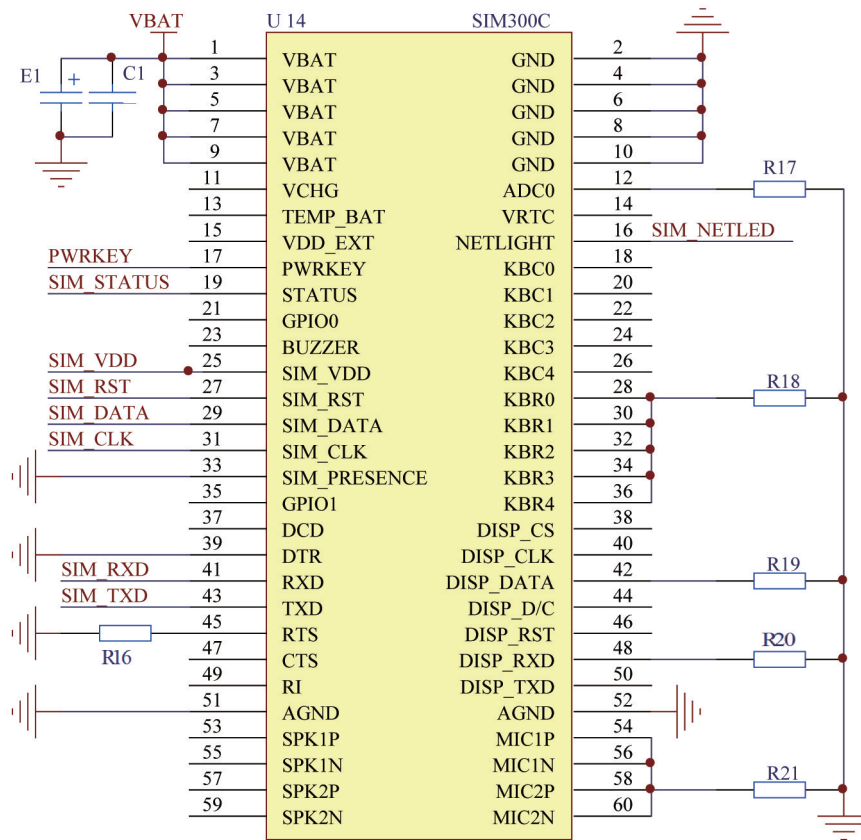


图9 GPRS通信模块电路

Fig. 9 Circuit of GPRS communication module

3 硬件测试

3.1 数据采集

GPS数据采集步骤如下:

1) 根据上位机数据处理与分析需求配置BD970 GPS模块;

- 2) 将GPS天线放置室外比较空旷处;
- 3) 连接MSP430F149单片机UART0接口和GPS模块接口,并将单片机的UART1接口与计算机串口相连;
- 4) 通过串口助手检测上位机接收到的GPS数据。单片机通过发送指令控制GPS采集数据,连续测试8 h,

没有出现数据丢包现象,且以 50 Hz 的频率更新定位信息。模拟轨检仪以 1~7 km/h 的速度移动 GPS 数据采集系统时,未发现定位数据的大幅度波动,而轨检仪的最佳推行速度为 3~5 km/h。

GPS 数据采集系统能够有效地采集数据信息,且由于系统只采用 Flash 存储器短时缓存数据,最终统一传输至上位机(容量为 500 G),所以无需担心满溢问题。

3.2 数据传输与接收

单片机对 GPS 采集到的数据进行处理,提取上位机所需的 RT17 格式数据,并对数据进行分包,再将数据包通过串口 UART1 传输至 GPRS 模块,并通过 AT 指令 AT+CIPSEND 与服务端建立连接,控制 GPRS 模块发送数据,步骤如下:

- 1) 将单片机 UART1 接口与 GPRS 模块接口相连,并插入 SIM 卡;
- 2) 单片机通过 AT 指令进行网络初始化,主要包括 GPRS 附着以及 PDP 激活;
- 3) 采用 AT 指令 AT+CIPSTART 设置连接类型、目标 IP 和侦听端口号,实现与服务器的 UDP 连接;
- 4) 采用 AT 指令 AT+CIPSEND 接收基站 GPS 采集到的数据信息。

若 4 个基站数据采集系统中的 GPRS 模块都与服务器端建立 UDP 连接,则服务器能够同时接收来自 4 个基站的数据。

轨检仪上加装的 GPRS 模块通过串口与上位机连接,可实现服务器与 GPS 流动站之间的数据传输。上位机通过 AT 指令 AT+CIPSEND 控制 GPRS 模块发送以 0xaa、0x55 开头的的数据表示向服务器端请求基站数据信息,若服务器接收到上位机的请求信息,则将来自 4 个基站的数据发送给上位机,再经下位机传输至 GPS 流动站。流动站端能够有效地接收来自服务器端的数据。

4 结论

构建的新型轨道检测硬件系统,利用 GPS 定位技术全天候、低成本的特点,实现了相对测量和绝对测量的统一,克服了传统轨检仪难以测得轨道外部几何参数的缺陷,提高了检测精度。利用 GPRS 无线通信技术,在实现测量数据实时高效传输的同时,大大简化了系统维护,提升了数据的存储、处理速率。利用 CAN 总线技术,使通信速率高达 1 Mbps,且可靠性高、性能稳定、价格低廉。

参考文献(References)

- [1] 安国栋. 高速铁路精密工程测量技术标准的研究与应用[J]. 铁道学报, 2010, 32(2): 98-104.
An Guodong. Study on technical standard for precise engineering surveying of high-speed railways and its applications[J]. Journal of the China Railway Society, 2010, 32(2): 98-104.
- [2] 郑树彬, 林建辉, 林国斌, 等. 高速磁浮轨道长波不平顺检测系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(10): 1781-1786.

- Zheng Shubin, Lin Jianhui, Lin Guobin, et al. Design of track long wave irregularity inspection system for high-speed maglev[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2007, 28(10): 1781-1786.
- [3] 陈强, 刘丽瑶, 杨莹辉, 等. 高速铁路轨道几何状态的车载摄影快速检测方法试验[J]. 铁道学报, 2014, 36(3): 80-86.
Chen Qiang, Liu Liyao, Yang Yinghui, et al. Static geometry measurement of high-speed railway tracks by vehicle-borne photogrammetry[J]. Journal of China Railway Society, 2014, 36(3): 80-86.
 - [4] Xu P, Sun Q X, Liu R K, et al. Key equipment identification model for correcting milepost errors of track geometry data from track inspection cars[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 35(1): 85-103.
 - [5] Iyengar R N, Jaisal O R. Random field modeling of railway track irregularities[J]. Journal of Transportation Engineering, 1995, 121(4): 303-308.
 - [6] 夏敬潮, 叶世榕, 刘炎炎, 等. Wi-Fi 辅助下附有高程信息的 GPS 定位[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2014, 39(1): 52-55.
Xia Jingchao, Ye Shirong, Liu Yanyan, et al. Wi-Fi assisted GPS positioning with fixed geodetic height[J]. Journal of Wuhan University: Information Science Edition, 2014, 39(1): 52-55.
 - [7] 郭际明, 周命端, 谢翔, 等. 利用 DUFOM 和 DC 算法的 GPS 单历元双差整周模糊度快速确定算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38(7): 813-817.
Guo Jiming, Zhou Mingduan, Xie Xiang, et al. A fast fixed algorithm of GPS single epoch ambiguity resolution based on DUFOM and DC algorithms[J]. Journal of Wuhan University: Information Science Edition, 2013, 38(7): 813-817.
 - [8] Wang P, Lü Z, Wang P, et al. Design of a simple 3-Lead ECG acquisition system based on MSP430F149[J]. Energy Procedia, 2011, 11(4): 669-675.
 - [9] Zhao L, Yuan Z, Gao S. The analysis and validation of two-dimensional attitude measurement with GPS[J]. Procedia Engineering, 2012, 29(2): 311-315.
 - [10] 查长流, 丁希仑, 俞玉树. 微小型空中机器人大容量数据记录仪的设计与实现[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(增2): 77-83.
Cha Changliu, Ding Xilun, Yu Yushu. Design and implementation of high-capacity data recorder for micro aero robot[J]. Journal of Central South University: Natural Science Edition, 2013, 44(Suppl 2): 77-83.
 - [11] 车艳双, 李民赞, 郑立华, 等. 基于 GPS 和 PDA 的移动智能农田信息采集系统开发[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 109-114.
Che Yanshuang, Li Minzan, Zheng Lihua, et al. Development of a moveable farm-data acquisition systems with PDA and GPS[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2010, 26(2): 109-114.
 - [12] 晋孝峰, 岳素格, 刘丽艳, 等. CMOS 图像传感器的硬复位电路研究[J]. 电子学报, 2014(1): 182-186.
Jin Xiaofeng, Yue Suge, Liu Liyan, et al. Research on CMOS image sensor hard reset circuit[J]. Acta Electronica Sinica, 2014(1): 182-186.
 - [13] Das A, Da Rolt J, Ghosh S, et al. Secure jtag implementation using schnorr protocol[J]. Journal of Electronic Testing, 2013, 29(2): 193-209.
 - [14] Fluri T P, Von Backström T W. Performance analysis of the power conversion unit of a solar chimney power plant[J]. Solar Energy, 2008, 82(11): 999-1008.
 - [15] Liu G, Xiao A, Qian H. Communication system design based on TMS320F2407 with CAN Bus[J]. AASRI Procedia, 2012(3): 463-467.

(责任编辑 韩星明)