

轨道动静结合快速检测多源数据采集模块设计

陈小宇¹,汪 歆¹,武瑞宏²,任晓春²,邓 川²

(1.华中师范大学 物理科学与技术学院,湖北 武汉 430079;2.中铁第一勘察设计院集团有限公司,陕西 西安 710043)

摘要:多源异构数据的高精度同步采集是轨道动静结合快速检测系统中的关键技术。设计了一套轨道动静结合快速检测多源数据采集模块,该模块以 Xilinx 公司的 Artix-7 系列 FPGA 为主控芯片,以英伟达 TX2 高性能计算机为核心数据处理单元,利用高稳晶振、结合 GPS 输出的 PPS 脉冲和 NEMA 数据建立高精度时间基准,通过控制 AD 采样频率实现位移传感器、温度传感器、激光位移传感器等多传感器数据的高精度实时同步采集。该模块体积小、成本低。测试表明,该模块可实现多传感器数据高精度同步采集,同步精度达微秒级。

关键词:轨道检测;多传感器集成;同步采集;现场可编程门阵列

中图分类号:TN709

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.201033

中文引用格式:陈小宇,汪歆,武瑞宏,等.轨道动静结合快速检测多源数据采集模块设计[J].电子技术应用,2021,47(7):111-117,124.

英文引用格式:Chen Xiaoyu,Wang Xin,Wu Ruihong,et al. Design of multi-source data acquisition module for rapid detection of track dynamics and statics[J]. Application of Electronic Technique,2021,47(7):111-117,124.

Design of multi-source data acquisition module for rapid detection of track dynamics and statics

Chen Xiaoyu¹, Wang Xin¹, Wu Ruihong², Ren Xiaochun², Deng Chuan²

(1.College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China;

2.China Railway First Survey and Design Institute Group Co.,Ltd., Xi'an 710043, China)

Abstract: The high-precision synchronous collection of multi-source heterogeneous data is a key technology in the rapid detection system of combined track motion and static. In this paper, a set of track dynamic and static combined rapid detection multi-source data acquisition module is designed. This module uses Xilinx's Artix-7 series FPGA as the main control chip, NVIDIA TX2 high-performance computer as the core data processing unit, and uses high-stability crystal oscillators and PPS pulse and NEMA data output by GPS establish a high-precision time reference, and realize high-precision real-time synchronous collection of multi-sensor data such as displacement sensors, temperature sensors, and laser displacement sensors by controlling AD sampling frequency. The module is small in size and low in cost. Tests show that the module can achieve high-precision synchronous collection of multi-sensor data, with a synchronization accuracy of microseconds.

Key words: track detection; multi-sensor integration; synchronous acquisition; FPGA

0 引言

多源异构数据的高精度同步采集是轨道动静结合检测系统中的关键技术之一^[1-3]。轨道动静结合检测系统是以惯性测量系统为核心测量单元,并辅以全站仪、GPS、轨距、倾角、里程计、轨枕识别等多类高精度传感器,实现铁路轨道几何尺寸的快速检测。随着高铁的迅猛发展,列车的速度不断提高,在列车提速的同时,会对铁轨造成更大的伤害,铁路轨道会发生形变、磨损等现象,而轨道结构的各个部件产生的形变都会直接或间接影响列车运营的平稳性和安全性^[4-9]。由于轨道动静结合快速检测系统的动态测量模式,测量速率快,采样频率高,大量多源数据需要同步采集、处理与存储,并实时

上传至控制中心,用于后续综合解算,因此,对多源数据采集模块提出了更高的性能需求^[10]。针对上述问题,本文设计了一套轨道动静结合快速检测多源数据采集模块,该模块以 FPGA 为主控芯片,利用高稳晶振、结合 GPS 输出的 PPS 脉冲建立高精度时间基准,通过控制 AD 采样频率实现位移传感器、温度传感器、激光位移传感器等多传感器数据的高精度实时同步采集^[11-12],将采集的数据通过 USB 实时传输至 Jetson TX2^[13],进行融合处理后,实现铁轨几何尺寸、形变及磨损的快速检测。

1 总体设计方案

总体设计框图如图 1 所示。为减小体积、便于安装和维护,将整个系统分为 FPGA 核心板、接口板、GPS 转

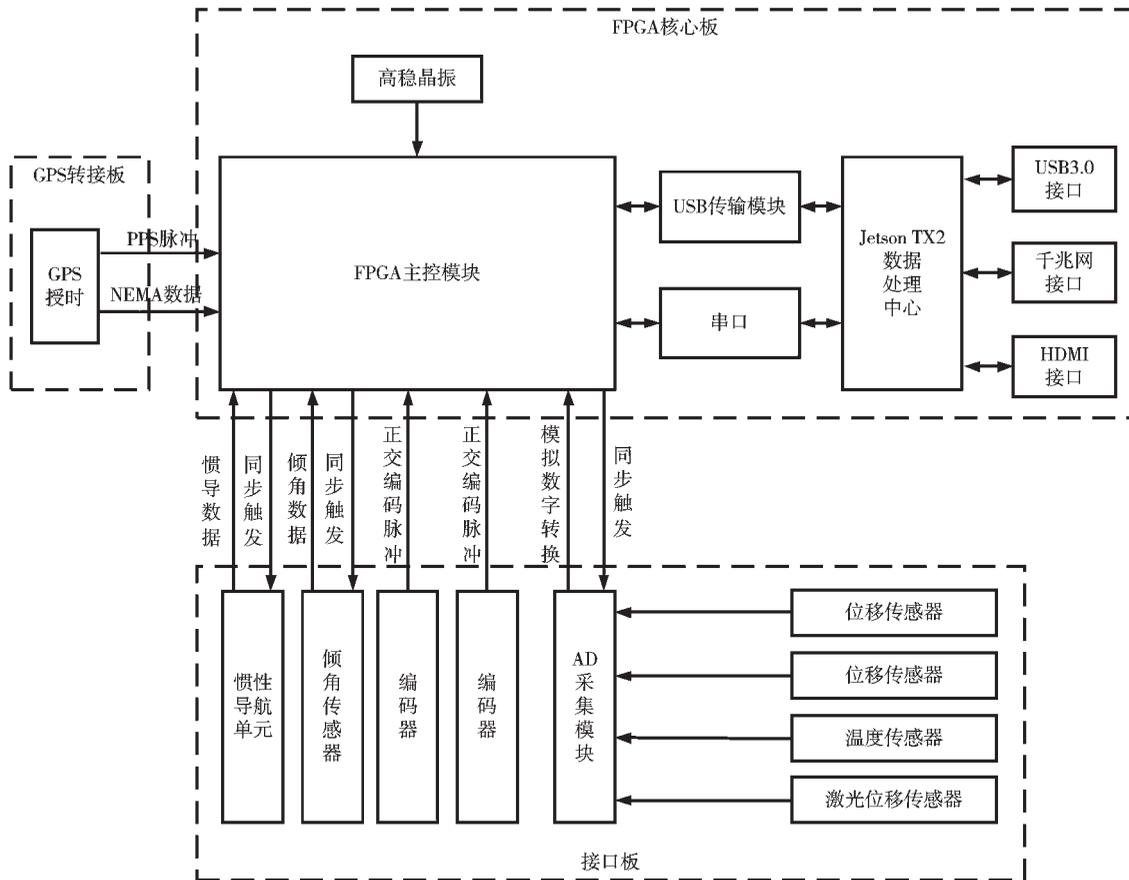


图1 系统总体设计框图

接板和电源板四个子模块。FPGA 核心板采用 Xilinx 公司的 Artix-7 系列 FPGA 为主控制芯片^[14-15],通过高稳晶振和 GPS 转接板输出的 PPS 脉冲和 NEMA 数据建立高精度时间基准,充分发挥 FPGA 高速并行的优势,实现对接口板上惯导、编码器、位移传感器、温度传感器、激光位移传感器等多传感器数据同步采集控制;并以 NVIDIA 公司的 Jetson TX2 作为数据处理融合中心, TX2 通过千兆网接口可以与上位机通信,接收上位机发送的控制指令,通过串口与 FPGA 核心板上的 FPGA 芯片通信, FPGA 同步采集的各个传感器数据通过 USB 传输模块上传至 TX2,进行数据的处理、融合和存储;电源板上集成高效率的 DC/DC 转换模块和电源转换芯片,实现高效电源转换,可以为各个模块提供供电电源,为整个系统稳定运行提供保障。

2 系统硬件核心电路设计

2.1 FPGA 核心板设计

FPGA 核心板框图如图 2 所示,作为整个轨道动静结合快速检测多源数据采集系统的核心部件,该子模块主要完成千兆网、USB 3.0、HDMI 等高速信号接口的处理、A/D 转换控制及数据传输、高精度时间基准建立、IMU 数据同步采集^[16]、编码器数据同步采集等核心任务,通过接插件与接口板对接连接。

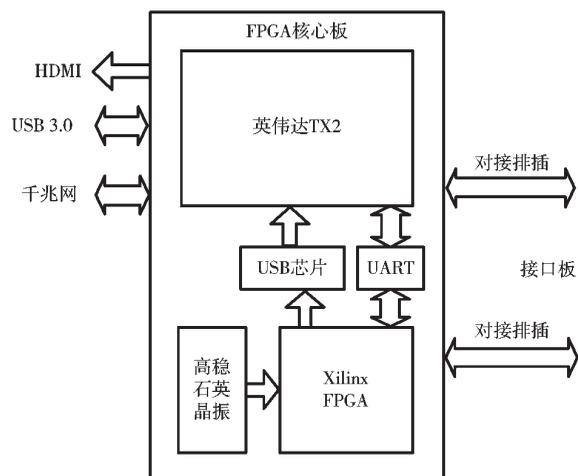


图2 FPGA 核心板框图

2.1.1 主控芯片的选型

选择 Xilinx 公司的 Artix-7 系列 FPGA 作为主控芯片,该芯片提供了行业最低的系统成本和功耗, Artix-7 器件在单个成本优化的 FPGA 中提供了最高性能功耗比结构、收发器线速、DSP 处理能力以及 AMS 集成。综合考虑逻辑数量、I/O 口数量、RAM 数量、乘法器数量、封装、功耗要求以及供货渠道与价格因素,选择 XC7A35T-1CSG324I 型号作为主控芯片,该型号在多种通用逻辑和

DSP 应用中优化实现了最低成本和功耗, 满足设计要求。该芯片详细参数如表 1 所示。

表 1 FPGA 性能参数信息表

性能参数	值
Logic Cells	33 280
DSP Slices	90
Block RAM (Kb)	1 800
Distributed RAM (Kb)	400
GTP 6.6Gb/s Transceivers	4
I/O Pins	250

2.1.2 时间基准的建立

由于高稳晶振短期稳定性好, GPS 输出的 PPS 秒脉冲长期精度高, 采用 GPS 输出的 PPS 脉冲对高温晶振进行驯化, 建立高精度的时间基准。系统的晶振电路图如图 3 所示。高稳石英晶振所选型号为 7N-10.000MBP, 频率为 10 MHz, 其频率稳定误差 20 年内稳定在 ± 4.6 ppm。

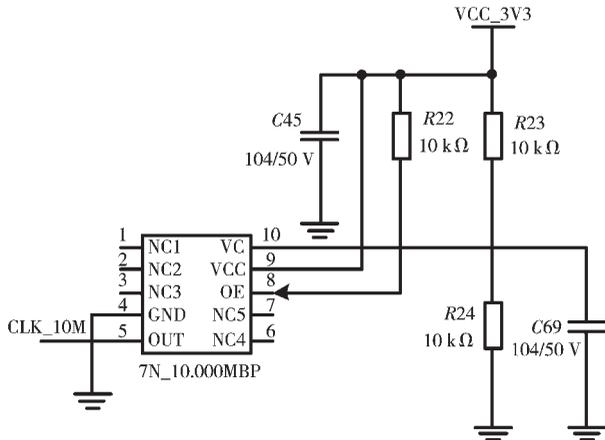


图 3 晶振电路图

采用 DS1302 为模块提供初始时间, 其电路如图 4 所示。

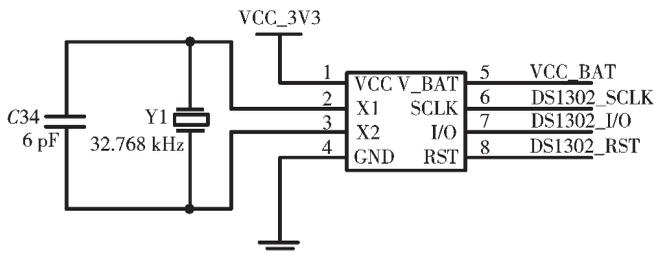


图 4 计时芯片电路图

启动时, 读取 DS1302 的时间作为系统初始时间, 外部高稳石英晶振的输出信号被 FPGA 中的锁相环捕捉, FPGA 将对信号进行累加作为系统的参考时钟, 同时抓取 GPS 输出的 PPS 脉冲信号上升沿作为绝对整秒的开始, 在连续检测到两个 PPS 脉冲时, 将上一 PPS 对应时间加一秒进行授时, 同时清零 FPGA 内部累加计数器,

这样保证了 FPGA 内部脉冲与 GPS 的 PPS 秒脉冲信号边沿对齐, 实现两者的时间统一。在 GPS 信号稳定时, FPGA 通过串口接收并解析 GPS 的 GPRMC 格式数据包, 每隔半小时将解析出的时间信息写入 DS1302 中, 确保下次系统启动时初始时间的准确性。

2.2 接口板设计

接口板如框图 5 所示, 接口板作为 FPGA 核心板和传感器连接的中间部件, 主要完成各传感器数据信号调理、电平转换、A/D 转换等功能, 并将转换后的信号通过两排排插连接至 FPGA 核心板的 FPGA 芯片, 由 FPGA 芯片根据设定的时间间隔, 完成各传感器数据的同步采集。

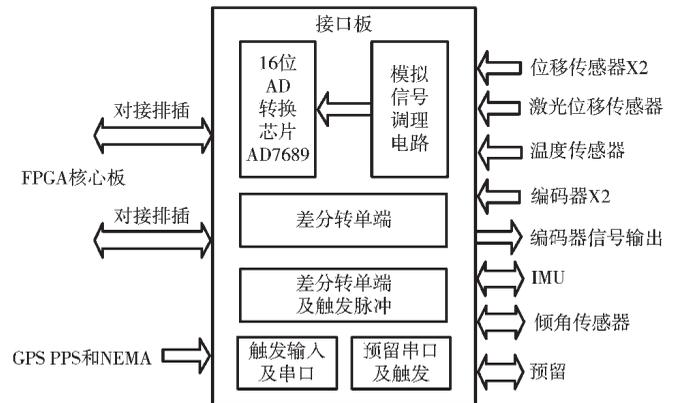


图 5 接口板框图

2.2.1 ADC 采集模块

位移传感器、激光位移传感器和温度传感器的输出信号经信号调理电路后送入 AD7689, AD7689 是 16 位 4/8 通道的电荷再分配逐次逼近寄存器型 (SAR) 模数转换器, 采用单电源 VDD 供电, 吞吐速率为 250 kS/s。AD7689 使用 SPI 接口实现配置寄存器的写入和转换结果的接收, SPI 接口使用单独的电源 VIO, 它被设定为主机逻辑电平, 其功耗与吞吐速率成正比。FPGA 通过该芯片采集位移传感器、激光位移传感器和温度传感器的数据。其电路设计如图 6 所示。

2.2.2 传感器信号调理电路

由于位移传感器、激光位移传感器和温度传感器输出模拟信号的幅值可能各不相同, 而 AD7689 可接受输入的电压范围为 0~4.096 V, 因此上述传感器输出的模拟信号不能直接输入至 A/D 转换芯片, 需要将这些模拟信号通过信号调理电路调理为 A/D 可接受的模拟信号输入并保证这些模拟信号幅值的统一。图 7 所示为某一路位移传感器的信号调理电路。

2.2.3 USB 电路设计

采用 CY7C68013 芯片作为 USB 传输控制芯片, FPGA 通过 16 位并行接口与该芯片连接, 将采集的多传感器同步数据转成 USB 协议后, 传输至 TX2。电路如图 8 所示。

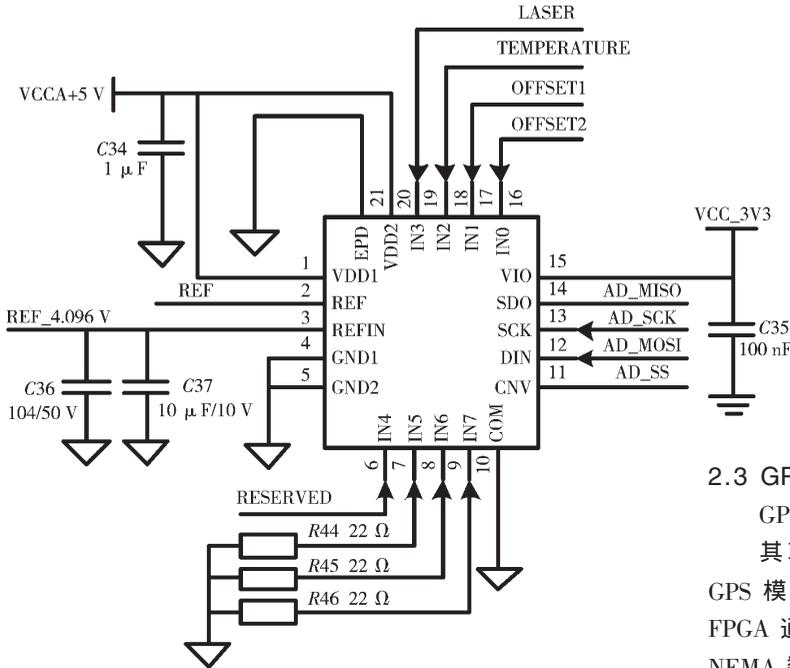


图 6 ADC 数据采集转换电路

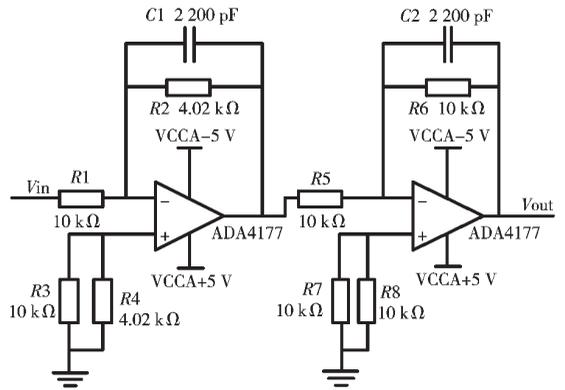


图 7 位移传感器信号调理电路

2.3 GPS 转接板设计

GPS 板卡电路设计如图 9 所示。

其功能是将 GPS 模块安装在该电路板上,并且完成 GPS 模块输出的 PPS 信号和 NEMA 信号的电平转换, FPGA 通过接口板与 PPS 和 UART 口连接,读取 GPS 的 NEMA 数据,结合 PPS 信号和高稳石英晶振,在 FPGA 内部建立高精度的时间基准。

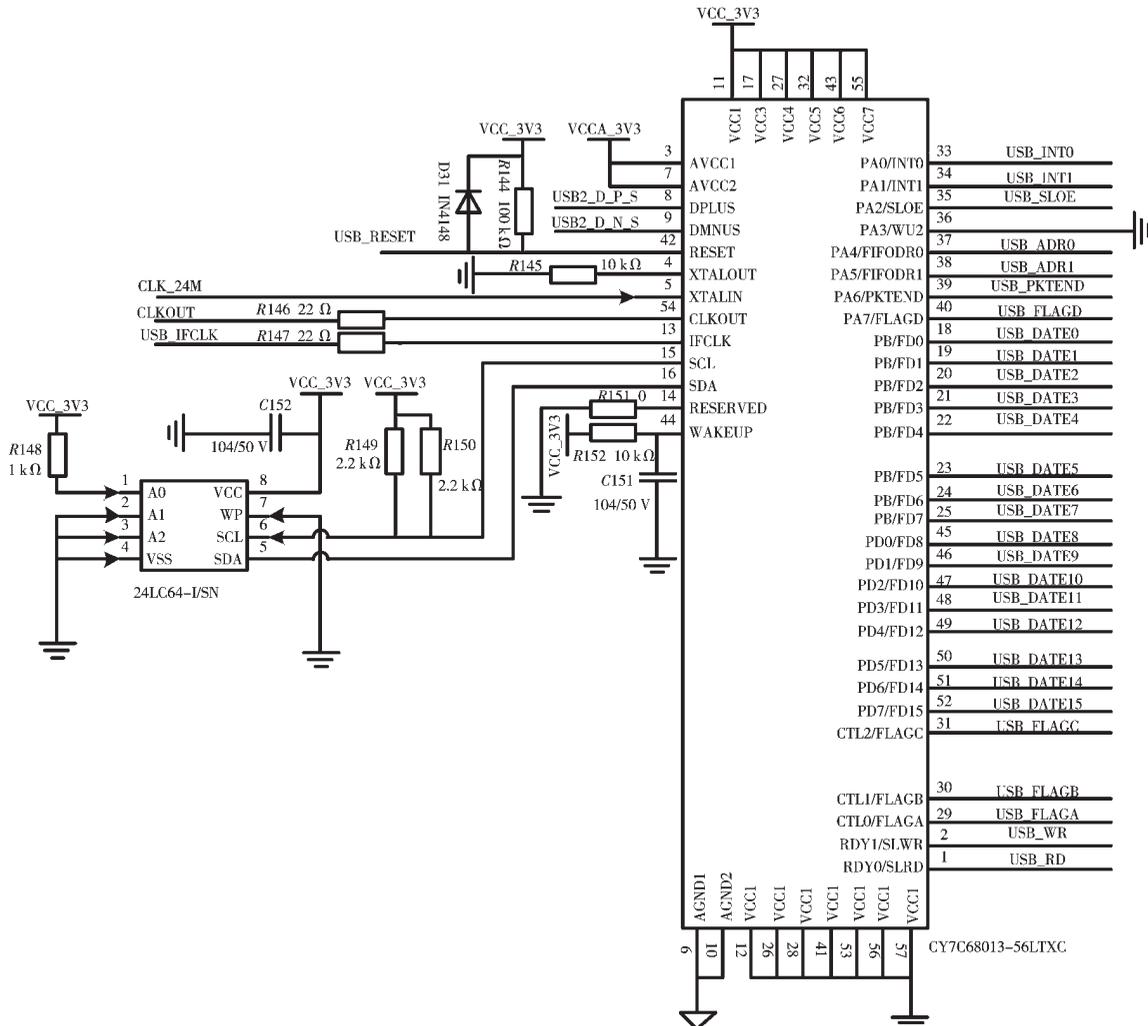


图 8 USB 电路设计原理图

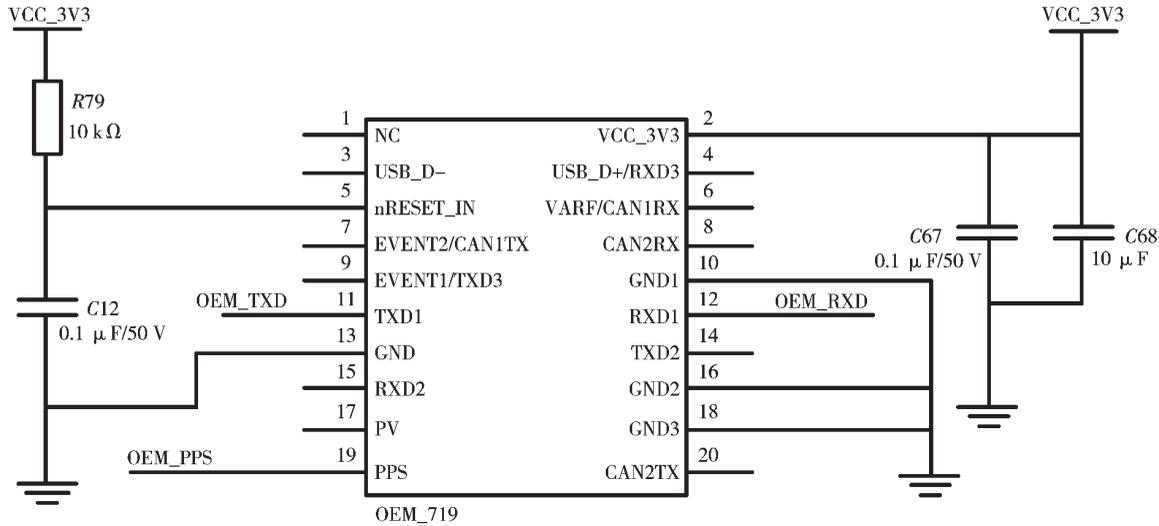


图9 GPS板卡电路图

2.4 电源板设计

电源板框图如图10所示,其功能是接收+12V电源输入,通过电源转换模块和电源转换芯片,变换出多路+24V、+12V、+5V电源,为各子模块和传感器提供可靠的供电电源。

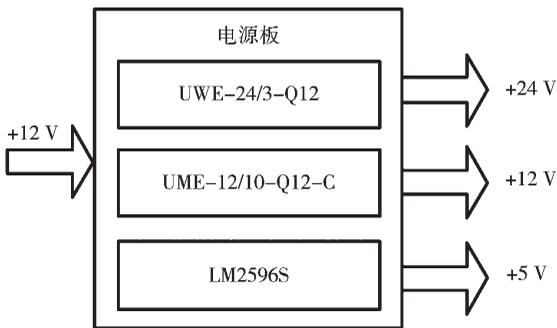


图10 电源板框图

3 FPGA 软件设计

3.1 FPGA 主控制模块程序设计

FPGA采用Xilinx公司的Artix-7系列芯片XC7A35T-1C3G324I,开发环境为Xilinx的Vivado,FPGA程序框图如图11所示。整个程序采用Verilog HDL语言开发,采用模块化设计。

FPGA主控制模块程序设计主要包括高精度时间基准建立模块、A/D转换控制、串口收发模块、编码器计数及辨向模块和FIFO及USB控制模块。FPGA通过SPI接口控制16位AD7689转换芯片,启动A/D转换,读取转换后的位移传感器、倾角传感器和温度传感器的数据以及对应的采样时刻;串口收发模块实现FPGA和串口的数据接收和发送。系统使用多个串口,串口1实现FPGA和TX2的数据交互,FPGA通过该串口接收TX2发送的指令,启动系统工作或停止,反馈查询结果;FPGA通过串口2接收惯导的数据;串口3实现FPGA和GPS之间

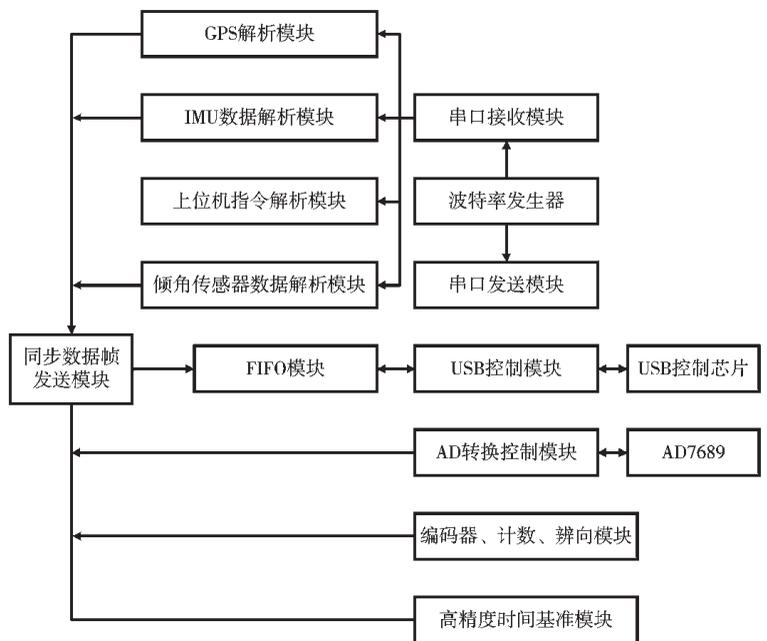


图11 多传感器数据采集同步控制流程图

的数据接收和发送,接收GPS发出的NEMA数据;编码器计数及辨向模块对两路编码器发出的脉冲进行正反计数,实现两路编码器位置的实时计数;FIFO及USB控制模块是对Cypress公司USB转换芯片CY68013进行控制,将采集到的多传感器数据打包后,写入到FIFO缓存,USB控制模块控制FIFO中的数据,向CY68013写入,从而实现多传感器同步后的数据从FPGA到TX2的上传。

3.2 A/D采集模块程序设计

A/D采集模块在FPGA程序设计上,使用三段式状态机,设置空闲、初始化、等待、数据读取4个状态。ad_en为使能信号,ad_done为扫描结束的标志位,采集频率freq是由一个分频模块输出固定频率的脉冲实现,将freq信号延迟2.5μs后输出作为转换数据读取的启动

时钟。当工控机发送系统开始工作指令后,将 ad_en 置为高电平,A/D 进行数据采集,直到工控机发送系统停止工作指令后,将 ad_en 置为低电平,A/D 停止数据采集;当读取的通道编号为最后一个通道时,置高 ad_done 标志位,启动一次 A/D 同步数据的 FIFO 写入操作,即将年月日、时分秒微秒、5 个通道数据按照协议设计写入 FIFO 缓冲器。AD 状态转换图如图 12 所示,各模块逻辑接口示意图如图 13 所示。

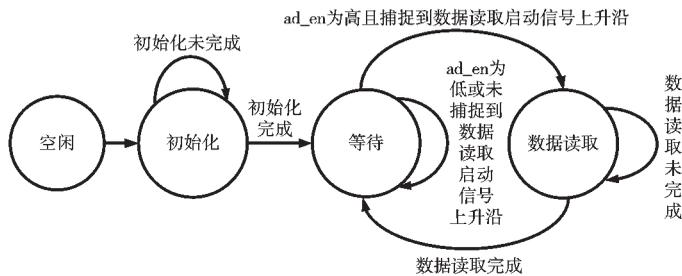


图 12 A/D 状态转换图

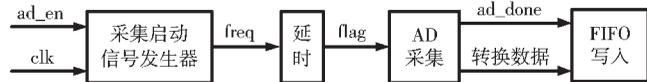


图 13 A/D 逻辑接口示意图

4 主要性能测试

轨道动静结合快速检测多源数据采集模块核心板和接口板如图 14 所示。经反复测试验证,目前电路板硬件运行良好,FPGA 控制程序稳定,能够按照设定的时间间隔,完成惯性测量系统、GPS、里程编码器、位移传感器、激光位移传感器、温度传感器等多种传感器的同步控制及数据采集,TX2 上的采集软件工作正常,上位机能够通过网络接口向 TX2 下发控制指令,读取 TX2 采集存储的多传感器数据,为后续研究工作的开展奠定了坚实的基础。

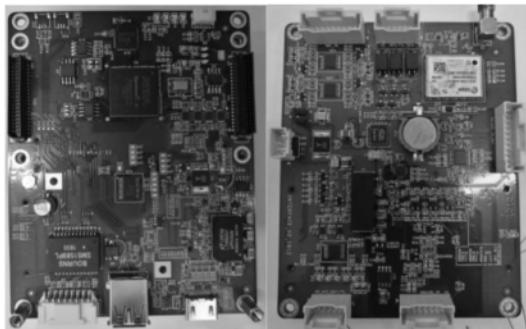


图 14 电路板实物图

4.1 调理电路仿真分析

位移传感器、激光位移传感器和温度传感器输出的模拟信号经过信号调理放大电路输入至 A/D 可以接受的信号幅值,图 15 为某一路位移传感器信号调理仿真图,图 16 为信号带宽图。

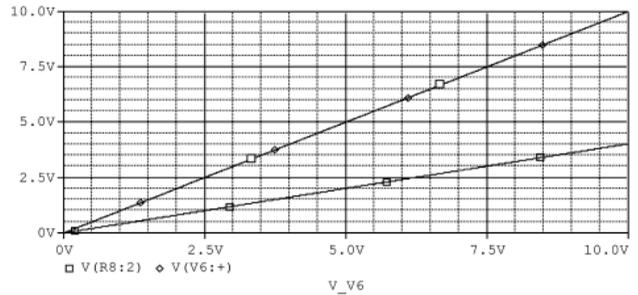


图 15 某一路位移传感器信号放大图

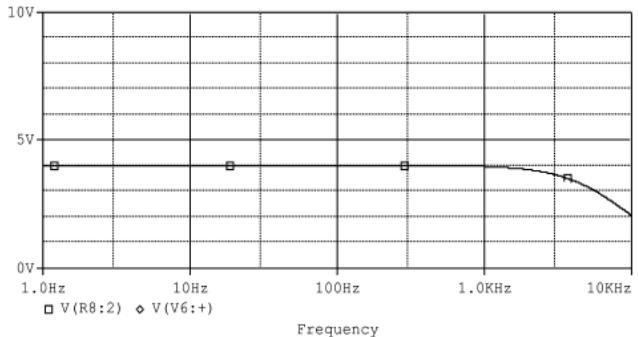


图 16 某一路位移传感器信号带宽图

从仿真结果可以看出,当位移传感器输入的模拟信号幅值由 0 V 增大到 10 V 时,经过信号调理之后输出的幅值为 0 V 到 4 V,在 A/D 可接受幅值范围内,其截止带宽频率大约为 6 kHz,可有效滤除噪声。

4.2 传感器数据采集

惯导输出为 RS422 接口,在接口板上转换为 3.3 V 电平信号后,输入至 FPGA,由 FPGA 读取惯导的数据。两路编码器均输出为 RS422 接口,在接口板上转换为 3.3 V 电平信号后,输入至 FPGA,由 FPGA 通过计数器记录编码器数据。倾角传感器输出为 RS232 接口,在接口板上转换为 3.3 V 电平信号后,输入至 FPGA,由 FPGA 读取倾角传感器的数据。FPGA 通过 AD7689 采集位移传感器、激光位移传感器和温度传感器的数据。FPGA 将采集到的 IMU、编码器和倾角传感器的数据以及 FPGA 读取 AD 采集到的数据一起打包后通过 USB 传输模块传输至 TX2 数据处理单元,其中 TX2 采集并存储同步板传输过来的原始数据,如图 17 所示。

TX2 通过上层软件把采集到的多传感器原始数据按照既定的格式解析出来,得到的解析后的数据如图 18 所示,其中每一列的数据所代表的含义如图 19 所示。根据陀螺和加速度的零偏、标度因素等参数即可解算出精确的实际数据。

4.3 惯导传感器数据采集分析

惯性测量单元是根据三个方向的加速度计和陀螺仪组成,通过对加速度及和陀螺仪的测量值进行积分解算来得到当前位置的姿态信息。图 20 为一段时间获取的加速度计数据图,图 21 为陀螺仪数据图。

```

55VH, 200001E1, 000341, 835, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF4F500007895FFFFDF960005FFFFF7B25FA, 51093, 32645, 65535, 26206, AAEEB055C8118, 62
55VH, 200001E1, 000341, 840, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF71F00005A08FFFFE8F5E0006FFFFF7C25F8, 51084, 32636, 65535, 26201, AAEEB055C8118, 64
55VH, 200001E1, 000341, 845, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF77C00005A68FFFFE2E2A0000FFFFF7C25F8, 51119, 32673, 65535, 26214, AAEEB055C8118, 62
55VH, 200001E1, 000341, 850, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF70C00005C00FFFFF3430000FFFFF7B25FA, 51119, 32662, 65535, 26200, AAEEB055C8118, 15
55VH, 200001E1, 000341, 855, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF5D000072D2000006C0000FFFFF7C25F8, 51087, 32620, 65535, 26200, AAEEB055C8118, 18
55VH, 200001E1, 000341, 860, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF9F00007C9A00002A650000FFFFF7B25FA, 51075, 32625, 65535, 26191, AAEEB055C8118, 69
55VH, 200001E1, 000341, 865, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF700000131F00001A0000FFFFF7C25F8, 51087, 32646, 65535, 26188, AAEEB055C8118, 10
55VH, 200001E1, 000341, 870, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF5600004FA000A0D30000FFFFF7B2601, 51121, 32662, 65535, 26215, AAEEB055C8118, 10
55VH, 200001E1, 000341, 875, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF7000003C0A0004E820000FFFFF7C2602, 51120, 32652, 65535, 26203, AAEEB055C8118, 61
55VH, 200001E1, 000341, 880, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF7700004119000015A0000FFFFF7B2603, 51077, 32646, 65535, 26199, AAEEB055C8118, 10
55VH, 200001E1, 000341, 885, 000, 2147483647, 2147483648, E880FFFF009E0A0049F000005E6A0000FFFFF7C2604, 51112, 32659, 65535, 26215, AAEEB055C8118, 14
55VH, 200001E1, 000341, 890, 000, 2147483647, 2147483648, E88000001A3100001030000719000015E5F7B2605, 51079, 32596, 65535, 26183, AAEEB055C8118, 66
55VH, 200001E1, 000341, 895, 000, 2147483647, 2147483648, E880000017C000015C00000129000015FF7C2606, 51086, 32646, 65535, 26194, AAEEB055C8118, 10
55VH, 200001E1, 000341, 900, 000, 2147483647, 2147483648, E8800000130B0000421F000029500005FFFFF7B2607, 51072, 32631, 65535, 26188, AAEEB055C8118, 15
55VH, 200001E1, 000341, 905, 000, 2147483647, 2147483648, E88000001750000404000024E0000FFFFF7C2608, 51083, 32619, 65535, 26178, AAEEB055C8118, 61
55VH, 200001E1, 000341, 910, 000, 2147483647, 2147483648, E880000019A2000042C0000A040000FFFFF7B2609, 51038, 32627, 65535, 26185, AAEEB055C8118, 62
55VH, 200001E1, 000341, 915, 000, 2147483647, 2147483648, E8800000195E00003AF000011200000FFFFF7C260A, 51119, 32666, 65535, 26213, AAEEB055C8118, 64
55VH, 200001E1, 000341, 920, 000, 2147483647, 2147483648, E8800000105000042C00002000000FFFFF7B260B, 51082, 32656, 65535, 26204, AAEEB055C8118, 15
55VH, 200001E1, 000341, 925, 000, 2147483647, 2147483648, E880000012670000267000026C00002770000FFFFF7C260C, 51085, 32645, 65535, 26199, AAEEB055C8118, 69
55VH, 200001E1, 000341, 930, 000, 2147483647, 2147483648, E880000045E0000266000024E0000FFFFF7C260D, 51091, 32650, 65535, 26199, AAEEB055C8118, 17
55VH, 200001E1, 000341, 935, 000, 2147483647, 2147483648, E880000056C000015A000012E0000FFFFF7B260E, 51180, 32645, 65535, 26190, AAEEB055C8118, 69
55VH, 200001E1, 000341, 940, 000, 2147483647, 2147483648, E88000003070000A2E0000103410000FFFFF7B260F, 51085, 32650, 65535, 26194, AAEEB055C8118, 61
55VH, 200001E1, 000341, 945, 000, 2147483647, 2147483648, E880000071300000590100001C010000FFFFF7C2610, 51079, 32631, 65535, 26181, AAEEB055C8118, 65
55VH, 200001E1, 000341, 950, 000, 2147483647, 2147483648, E88000007400000291900002C420000FFFFF7C2611, 51082, 32640, 65535, 26193, AAEEB055C8118, 17

```

图 17 TX2 采集并存储的多传感器原始数据图

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
0	92912	1	-45220	28821	-8298	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19331	2.04031
1	92912	2	-38360	23048	-8097	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19275	2.03975
2	92912	3	-35060	20222	-5398	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19613	2.04206
3	92912	4	-41522	24027	-3261	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19494	2.04138
4	92912	5	-21379	29230	2325	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19219	2.03879
5	92912	6	-26128	31783	11685	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19219	2.03906
6	92912	7	-29737	35967	14986	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19108	2.03981
7	92912	8	-14240	20474	38175	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19500	2.04138
8	92912	9	-6390	15634	20354	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19438	2.04075
9	92912	10	-5322	16889	23121	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19231	2.04038
10	92912	11	2528	18921	24200	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19465	2.04119
11	92912	12	6705	16051	29083	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19869	2.03738
12	92912	13	6000	13676	29665	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19163	2.04008
13	92912	14	13064	16027	25237	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.192	2.03944
14	92912	15	14181	17562	21070	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19019	2.03889
15	92912	16	6962	17098	17546	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.18988	2.03919
16	92912	17	14696	15092	12576	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19494	2.04163
17	92912	18	12649	19396	10083	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19308	2.041
18	92912	19	9063	22024	9847	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19219	2.04006
19	92912	20	17903	21094	9454	0	0	-132	0	0	0	0	0	0	0	0	3.19319	2.04093

图 18 TX2 解析原始数据后的数据图

时间/s	陀螺仪X	陀螺仪Y	陀螺仪Z	加速度X	加速度Y	加速度Z	温度	倾角传感器X	倾角传感器Y	倾角传感器Z	小位传感器	大位传感器
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.19331	2.04031	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

图 19 解析后的数据格式图

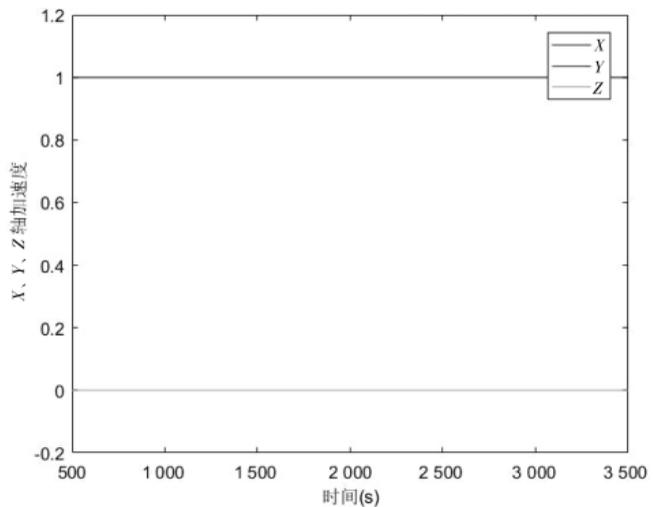


图 20 惯导加速度计数据图

从测试结果分析，在系统初始静止的时候，IMU 的加速度计 X、Y 轴的加速度在 0 附近，Z 轴的加速度则

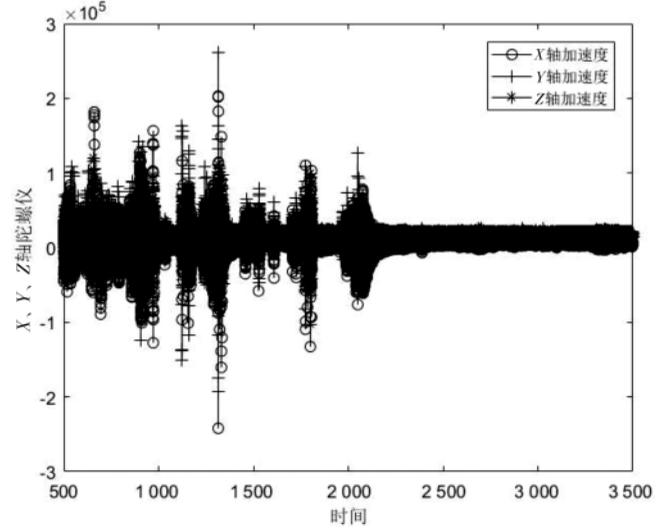
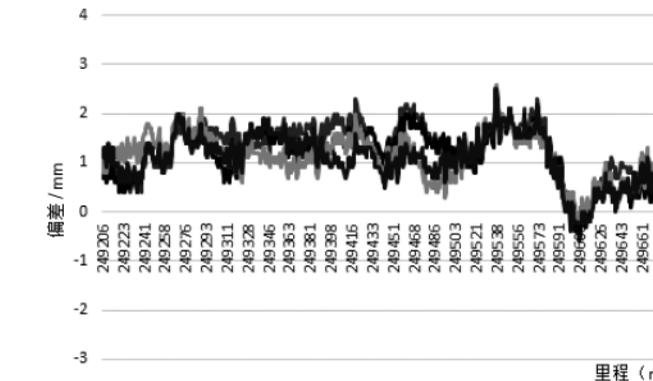


图 21 惯导陀螺仪数据图

在重力加速度 g 左右。

4.4 检测偏差重复性分析

结合轨道线路的名称、检测设备、日期范围、里程范围和线路的速度等级，以此来确定检测偏差的重复次数，如果检测偏差重复次数较多，可以判定为该区域属于质量薄弱的路段，需要对该路段及时进行改良。图 22 为轨道横向偏差重复性波形图，图 23 为轨道垂向偏差重复性波形图。

通过分析横向和垂向偏差重复性波形图可知，横向偏差范围在 4 mm 以内，垂向偏差范围在 7 mm 以内，由此可知该路段铁轨质量良好，在其允许误差范围内。

5 结论

本文设计了一套轨道动静结合快速检测多源数据采集模块，以 FPGA 为主控芯片，以 TX2 为处理单元，利用高稳晶振结合 GPS 输出的 PPS 脉冲建立高精度的时间基准，通过 FPGA 控制 AD 转换芯片的采样时间，实现位移传感器、激光位移传感器、温度传感器等传感器数据的同步采集，并将对应时刻的惯性导航单元、GPS、编码器、倾角传感器等传感器的数据打包，通过 USB 传输

图 22 轨道横向偏差重复性波形图

(下转第 124 页)

[18] 王向武,程祺祥.短周期 AlGaAs/GaAs 超晶格的 MOCVD 生长及 X 射线衍射研究[J].固体电子学研究与进展, 2000(2): 94-97.

[19] AZOULAY R, JUSSERAND B, ROUX G L, et al. MOCVD growth and characterization by Raman scattering, x-ray diffraction and Auger spectroscopy of short period GaAs/AlAs and GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs superlattices[J]. Journal of Crystal Growth, 1986, 77(1-3): 546-552.

(收稿日期: 2021-01-12)

作者简介:

李林森(1984-),男,博士,主要研究方向: GaAs、InP、GaN 基高电子迁移率晶体管(HEMT)、双极晶体管(HBT)、近红外光探测器(NIPD)、有机发光二极管(OLED)、无机-有机复合光上转换器件(Up-converter)、混合集成电路等。



扫码下载电子文档

(上接第 117 页)

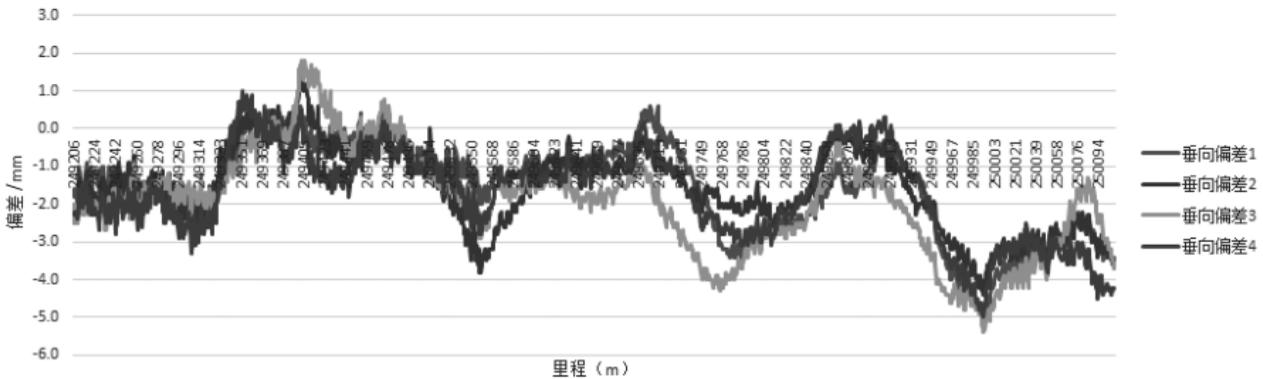


图 23 轨道垂向偏差重复性波形图

模块上传至 TX2 进行数据解析、融合处理及存储。测试结果表明,轨道动静结合快速检测多源数据采集模块的时间同步精度达微秒级,并具有体积小、安装方便、功耗低等一系列的优点,很好地满足了轨道动静结合快速检测系统的要求。

参考文献

[1] 陈东生,田新宇.中国高速铁路轨道检测技术发展[J].铁道建筑,2008(12): 82-86.

[2] 王晓东,杨吉,罗依梦,等.高速铁路轨道电路动态检测综合质量评价研究[J].铁道标准设计,2020,64(8): 118-123.

[3] 王旺华,毛庆洲,熊智敏.钢轨几何尺寸自动测量系统研究[J].中国铁道科学,2012,33(S1): 117-121.

[4] 徐其瑞,许建明,黎国清.轨道检查车技术的发展与应用[J].中国铁路,2005(9): 37-39.

[5] 李清泉,毛庆洲.道路/轨道动态精密测量进展[J].测绘学报,2017,46(10): 1734-1741.

[6] TB10601—2009 高速铁路工程测量规范[S].北京:中国铁道出版社,2009.

[7] TB10101—2009 铁路工程测量规范[S].北京:中国铁道出版社,2009.

[8] 潘亮.高速铁路轨道几何状态检测技术与实现[D].长沙:中南大学,2013.

[9] 李阳腾龙.高速铁路轨道精测精调及其平顺性优化研究[D].成都:西南交通大学,2017.

[10] 田皓文,郭世旭,朱锰琪,等.基于 FPGA 的通道数可调高精度采集系统模块化设计[J].电子技术应用,2020,46(2): 53-57,61.

[11] 陈小宇,堵刚刚,向春玲.道路普查多传感器数据采集[J].电子测量技术,2017,40(8): 174-179.

[12] 陈小宇.多传感器高精度同步方法及其在移动测量的应用[D].武汉:武汉大学,2013.

[13] Anonymous. Industrial PC features NVIDIA Jetson TX2 processor[Z]. 2020, 25(1).

[14] Xilinx Inc. Zynq-7000 SoC and 7 series devices memory interface solutions v4.2, user guide(v4.2)[Z]. 2018.

[15] Xilinx Inc. 7 Series FPGAs configuration user guide[Z]. 2018.

[16] 聂梦馨,吕品,赖际舟,等.一种光纤 IMU 的双轴非定向标定方法[J].电子测量技术,2014,37(8): 123-128.

(收稿日期: 2020-10-23)

作者简介:

陈小宇(1972-),男,博士,副教授,主要研究方向: 嵌入式系统与应用、信号与信息处理、高速信号采集。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所