

高速实时系统数据采集与传输

王建中 杨 璐

(重庆青年职业技术学院信息工程系 重庆 400712)

摘 要 数据采集实时型是控制系统的关键。如何更加有效地提高系统数据处理、传输、信号控制等方式的速度,从而达到快速处理的目的是亟待解决的问题。以高速采集捷联惯性导航数据和处理、计算为例,详细介绍了多个 DSP 芯片协同工作,采用双口 RAM 数据传输技术,数据读取采用 FPGA 可编程技术,满足了激光捷联惯性导航系统数据采集、传输、解算等处理的要求,实现了航向、横滚、俯仰、速度和位置坐标等导航数据的处理,输出数据更新频率高达 500~1000Hz,从而改善了导航系统载体的姿态跟踪。

关键词 导航系统, DSP, 双口 RAM, FPGA, 激光陀螺

中图法分类号 TN402 **文献标识码** A

Data Acquisition and Transmission in High Speed Real-time System

WANG Jian-zhong YANG Lu

(Department of Information Engineering, Chongqing Youth Vocational College, Chongqing 400712, China)

Abstract Real-time data acquisition is the key to control system. How to effectively improve system data processing, transmission and signal control mode is a major problem to solve. This research set the processing and calculation of high speed acquisition strapdown inertial navigation data an example, gave a detailed introduction of joint work by DSP chips, and adopted dual-port RAM data transmission technology. Data reading adopts the method of FPGA programmable technology, and is capable of data collection, transmission and calculation of laser strapdown inertial navigation system. The research has achieved the navigation data processing for heading, rolling, pitching, speed and position, while the output data update frequencies come up to 500~1000Hz, so as to improve the carrier's attitude tracking accuracy.

Keywords Navigation system, DSP, Dual-port RAM, FPGA, Laser gyroscope

21 世纪以来,电子技术飞速发展,多 CPU 并行处理提高了信号采集、数据处理和传输的速度,促进了高速实时系统^[1]的发展。如何将此技术应用于激光捷联惯性导航系统,对高速数据采集、快速解算、高频率数据传输等技术特性来说已成为了亟待解决的问题。大量的工程实验证明, DSP+FPGA+双口 RAM^[2] 组合技术为高速实时采样和传输提供了参考^[3]。

1 CPU 选取

激光捷联惯性导航系统传感器采用 3 个激光陀螺仪和 3 个高精度石英加速度计,分别敏感载体转动的空间三轴的角速度和运动的加速度,再辅以 GPS/北斗、里程计、高度计等外部设备构成组合导航系统。

激光捷联惯性导航系统不仅要快速并行采集多个传感器数据和辅助导航设备数据,而且要完成大量浮点运算和数据传输,因此,选取高性能的 CPU 尤为重要。数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)^[4]与其它处理器相比,不仅具有强大的浮点运算能力,而且控制功能也非常完备,在数据处理方面优于 ARM 系列。如何选取能同时满足捷联惯性导航系统数据采集、处理和传输 DSP 芯片呢?

在控制功能方面, DSP2812 具有独特的优势,芯片内部集成了丰富的外部接口,在信号控制、电机控制、数字电源等领域大量使用,但在数据处理方面只支持定点数据处理。为了解决捷联惯性导航系统浮点计算这一矛盾,选用支持 32 位浮点运算的 DSP28335。 DSP28335 速率最高可达 150MHz, 不仅支持浮点运算,而且接口丰富,用户可根据需求自由设定,可满足 2 路 CAN 总线、3 个标准串口、3 个定时器、多个可用中断信号等,能同时满足多路传感器和外部设备数据采集要求。

导航计算机选择是捷联惯性导航的难点,传统的 PC104 功耗较大,接口较少,只能通过扩展卡实现其数据的接收和传输,不可能既满足大量浮点运算,又同时向外部以 500~1000Hz 的速度传输数据。激光捷联惯性导航系统选用性能优越的 DSP6747,其工作频率高达 300MHz,而且是双精度浮点运算,能满足导航系统大量解算的要求;外部接口丰富,有 2 个 UART 串口、2 个 USB 口、8 组 16 位 AD、4 路 12 位 DA,外扩 SDRAM、FLASH 容量为 512MB,能够装载大量程序,还可以通过数据线、地址线、控制线与其它 CPU 并行处理和传输数据。因此,选用 DSP6747 设计控制板作为激光捷联惯性导航系统的运算平台。

本文受四川省软科学研究计划项目:四川汽车物流分析规划与发展战略研究(2015ZR0162)资助。

王建中(1979—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为计算机信息技术、惯性导航、控制工程;杨 璐(1990—),女,硕士生,主要研究方向为教育管理、信息技术应用。

2 高速实时数据采集方法

数据采集是高速实时系统最关键的环节,也是直接影响系统解算、输出是否能实时敏感载体运动状态的最关键环节。大量文献资料所用方法和实际产品使用方法均通过 A/D 采样,或者 VF、IF 变换^[6],或者是多个 CPU+A/D,实现数据采集,但不能保证多个 CPU 时钟完全同步,在同一时间点读取多个传感器数据,同时还存在因大量解算而造成的时间周期内数据采用丢失等问题。激光捷联惯性导航系统是在输入初始点位置信息情况下自动寻北、导航,所有运动过程数据采集和计算必须是连续的。因此,要保证激光陀螺和加速度计传感器的值在同一时间点采集,还要考虑 A/D 模数转换频率和精度。数据采集芯片选用 DSP28335, A/D 模数转换选用 AD7608,该芯片内置 18 位、8 通道数据采样,可满足双极性同步采样,其采样频率高达 200ksps,可满足实时性要求极高的激光陀螺和加速度计的数据采样要求;剩下的两个通道可完成其它数据如激光陀螺温度传感器、加速度计温度传感器、电路板等数据的采样,可通过控制开关选通来实现。激光捷联惯性导航系统数据采集速率达 50kHz,满足高速采样要求,而且稳定可靠。

DSP28335 支持单精度浮点运算,外围接口可根据需求自定义,定时器、输入输出、中断触发方式(电平触发或边沿触发)等功能都可以通过软件控制来实现,非常方便。时钟周期设置灵活,方便数据采样,其采样周期设置为定时周期的偶数倍,以便设置引脚高低电平,引发指定周期性中断。在中断服务程序中,只要启动一次中断响应就读取传感器数据,从而保证多通道传感器数据采集在同一时刻,满足数据采集的实时性和同步性,从而保证采样数据即为载体的运动状态^[5]。目前,加速度计数据大多采用 VF、IF 变换,数据稳定性较好,但动态跟踪性较差,运动状态变化较快或路面复杂时尤其是如此。因此,在高频率数据采集时,为保证其采样数据不丢失跟踪状态,采用硬件积分电路,实时对输入电压积分,周期性采集数据,并设置阈值以便实现过压归零,从而使积分电路在线性度最好的区域工作。加速度计的温度补偿是一项复杂的过程,如果对精度要求不高,可采用直线补偿法,使其工作在相对稳定的区域;如果要达到高精度,必须通过专门的换通道补偿法,经过换路测量通道参数,而且保证动态补偿时系统能够稳定运行,补偿算法较为复杂,计算量较大。激光陀螺仪数据敏感角速度采用脉冲统计技术,即通过相位差分、比较电路、FPGA 求和方式,快速采集数据,采样周期为 2000Hz。

激光陀螺和加速度计传感器数据采集、温度补偿、量纲转换等处理都在 DSP28335 中进行,并且能够通过 CAN 口或串口实现其过程监控。数据传输通过双口 RAM 与 DSP6747 实时高速交换数据,其数据传输周期与采样周期一致,均为 2000Hz,是传统方式采样和传输方式无法实现的。数据读取采用并行独立模式;数据采样按照所有通道同步采样。

3 FPGA 选取和应用

现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA),可以集成大规模数字电路,用户可根据自己的需求设计,具有高灵活性、高保密性、高容量、高密度等优点,而且适合于实现数据密集型的系统。传统 PCB 大量使用逻辑电路模块,同时电路板空间布线困难,不利于保护自己的核心电路设计。采用 FPGA 方式方便了工程技术人员开发硬件,缩短

了设计硬件逻辑电路的周期,提供了比 PLD 和 EPLD 器件更大的有效逻辑容量密度,大量减少了硬件电路板逻辑电路布线,并且可以反复编程和重复使用,降低了硬件开发的成本,保护了开发人员成果。

导航系统要求集成化、小型化,控制电路较多,激光陀螺、加速度计电路设计复杂,还有周长控制、稳流控制、里程计、高度计、GPS/北斗等控制电路板和外部设备,选用 FPGA 设计尤为重要。A3P250 支持 4 个 I/O 组,可提供 157 个 I/O 接口,1024 位可配置非挥发性 Flash 内存和 6 个时钟,其中一个带有 PLL 机载锁相环,待机功耗低于 3mA,并配有 128 位 AES 加密和内置加密存储 Flash,可以大量减少逻辑电路。同时,将系统需要保密的部分和控制核心部分通过 FPGA 固化到内部,可以有效保护自己的核心技术。多 CPU 数据传输通过中断+定时器+双口 RAM 技术,激光捷联惯性导航系统通过信号处理 CPU DSP28335 定时器每 2000Hz 周期引发的中断,其中断信号与 FPGA 引脚相连,只要有中断触发,就可以瞬时传到 FPGA 并相应中断,或者由 FPGA 固定周期引发中断,触发 DSP28335 读取数据,从而保持两边时钟同步。为了保持传感器数据采样时间的一致性,在同一周期内需同时读取需要同步的传感器值,采样频率与计算周期相匹配,或为计算周期的偶数倍,以便于周期调整。如需与其它 CPU 保持高速实时传输,可在其 CPU 处理完毕后,通过电平信号告知 FPGA,从而根据设置的流程引发中断,通知并行处理 CPU DSP6747 接收数据,以便及时处理数据和清除数据。整个数据从发送到接收完毕不超过 10ns,与传统的串行传输(即使采用最高传输速率,传输完一组数据也需要毫秒级)相比,至少提高了上万倍,大大节省了 CPU 并行处理传输数据的时间,提高了数据采集、处理、传输的实时性,为高速实时数据采集系统提供了参考。

4 双口 RAM 设计思想

双口 RAM 设计需要完成多个相同或不同 CPU 的数据共享,通过控制线、数据线和地址线访问对方内部的 RAM 资源。双口 RAM 的优势是能够实现对同一地址单元访问的时序控制,而且可以灵活处理存储单元数据块的访问权限分配、信令交换逻辑(例如中断信号)等。目前,双口 RAM 芯片生产厂家主要有 Actel、Cypress 和 IDT 等几家公司,使用较多的芯片产品有 CYxxxx 系列、IDTxxxx 系列和 ProASIC3 等。激光捷联惯性导航系统采用 A3P250 芯片实现其双口 RAM 功能,数据采集和处理部分由 DSP28335 完成,其中包括传感器数据采集、外接设备数据接收和监控信息输出等,导航 CPU DSP6747 既要完成数据接收、处理和发送等任务,还需完成系统寻北、导航和组合导航等复杂的数学运算。数据采集、导航解算和数据传送 3 个独立系统并行协同工作,要保证整个过程延迟不超过 1ms,数据更新频率达到 1000Hz,便可以有效跟踪随动系统姿态高速变化状态,从而满足复杂环境武器射击平台姿态跟踪。3 个独立系统按照此方式交换数据更加方便可靠,将被传输的数据按 IEEE 标准存放在暂存数组,在所传数组首尾增加两个字节的判断信息,如 0x02、0x03...0x02、0x30、校验位,校验位,通过此方式传输数百个字节只需要纳秒时间级就可以达到。目前,大多数嵌入式系统数据传输采用 RS-232、RS-485 和 CAN 总线等传统方式,100 字节传输速率最快也需毫秒级,不可能实现高达 1000Hz

的姿态控制系统,而且误码率较高。如果在双口 RAM 中读/写存取器,既可以在指定的 RAM 读取数据,也可以保存数据,读写双方通过中断响应,协同工作,按约定的时序读取数据,而且可以保证数据在未被读取的情况下依然锁存在固定

地址区域,除非关闭电源。因此,采用双口 RAM 设计,可以大大缩短数据交换时间,满足高速实时系统要求。DSP28335 数据采集和存取的大致原理如图 1 所示,DSP6747 读取数据与 DSP28335 类似,这里不再重复。

