# 4 系统总体设计

海洋油气勘探水声探测系统采集传输子系统基于LS1024A处理器为核心的硬件平台，主要由主端处理器模块和从端FPGA模块两部分，主端处理器模块承担了大部分系统功能，包括声学数据采集、数据处理、数据编码和数据存储，从端FPGA模块主要负责接收主端处理器整理好的声学数据并将其按照标签号发送出去，以及将从上一级节点发送过来的数据包转发至下一级节点。主端处理器与从端FPGA之间通过PCIe实现数据的传输，共同实现采集传输系统的数据采集、处理、编码、存储、发送和转发功能。本章将从系统的硬件结构和软件结构两个方面对系统进行总体设计。

## 4.1 硬件总体设计

水声探测采集传输子系统是基于NXP公司推出的LS1024A处理器设计，其硬件系统总体设计框架如下图所示：

图4.1：采集传输子系统硬件总体设计框架

数据采集传输系统节点主要实现接收前端模块数据并对其按照自定义协议进行整理和上传。节点以NXP公司推出的高性能嵌入式处理器LS1024A为核心。LS1024A利用ARM的高能效核心技术和飞思卡尔的低功耗设计流程，是目前同类产品中功耗最低的嵌入式处理器，集成了两个ARM Cortex A9内核器件，单内核主频达到1.2GHz，共可提供高达6000 DMIPS的处理性能；

系统扩展128Mb SPI Flash闪存存放系统的启动镜像和512Mb DDR3内存作为系统的运行内存；通过Xilinx公司的Artix-7系列FPGA设计基于FPGA的启动配置模块控制系统启动；通过RS485接口接收采集的数字声波数据；通过PCIe x1接口实现与FPGA的数据通信；通过GPIO口进行中断响应，实现与FPGA的异步通信；通过MAX232设计RS232串行通信接口用于系统调试；通过外接50M晶振结合内部PLL锁相环产生系统时钟；通过JTAG口用于烧写处理器程序。

FPGA外接串行器DS92LV1021A、解串器DS92LV1212A、驱动芯片CLC001，均衡器LMH0074。发送模块由串行器和驱动芯片组成，串行器将并行数据解析为差分信号，并通过驱动芯片提升长线传输的驱动能力；接收模块由均衡器和解串器组成，传输进来的差分信号经过均衡器均衡后发送至解串器恢复成并行数据，输入到FPGA中进行处理。

## 4.2 软件总体设计

水声探测采集传输子系统软件总体设计主要可分为软件结构设计和外部接口设计。结构设计将系统按照功能大致划分为三个层级单元进行分别介绍，外部接口设计主要针对节点和汇聚模块的通信协议进行概要的介绍。

### 4.2.1 结构设计

海洋油气勘探水声探测系统软件为尽可能的降低系统功耗，自主设计boot引导程序启动，整个软件系统的模块结构如图4.2所示：

图4.2：采集传输子系统软件总体设计框架

如图4.2所示，采集传输系统软件层级结构主要可划分为三层，包括最底层Boot启动单元，第二层系统初始化单元和第三层系统应用单元。其中第二层系统初始化单元包括初始化系统参数、中断注册、串口驱动、DDR驱动、FLASH驱动、PCIe驱动、DMA驱动和网络驱动，第三层系统应用单元结合功能及模块化思想，划分为命令接收模块、命令处理模块、数据采集与发送模块和诊断模块四个模块。各单元的功能及设计决策如下：

Boot启动单元为整个程序最开始阶段，其功能为从FLASH闪存中读取系统代码，通过DMA方式拷贝到DDR中运行起来，最后跳转程序指针到高级语言C的main入口处，开始执行C部分程序代码。其相关描述及设计决策如表1所示：

表1 BOOT启动单元

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **名称** | BOOT启动单元 | **标识** | JD\_BOOT |
| **用途** | 引导程序启动，初始化节点DDR等硬件环境。 | | |
| **设计决策** | | | |
| **设计需求** | | **设计约束** | |
| 可进行代码在线更新，根据情况选择从哪份代码运行 | | 需将代码备份在flash中，保证掉电不丢失。 | |

系统初始化单元主要完成系统应用运行前的一些列初始化操作，包括系统参数、中断注册、DDR驱动、FLASH驱动、串口驱动、PCIe驱动、DMA驱动和网络驱动，其相关信息描述及设计决策如表2所示：

表2 系统初始化单元

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **名称** | 系统初始化模块 | **标识** | JD\_CSH |
| **用途** | 进行节点的参数配置，注册中断处理函数以及初始化FLASH、DDR、串口等驱动设备 | | |
| **设计决策** | | | |
| **设计需求** | | **设计约束** | |
| 进行节点ID及IP等参数配置、完成驱动设备的初始化 | | 初始化的系统参数需保存在flash中，保证掉电参数仍有效 | |

系统初始化单元各项内容说明如下：

* 系统参数

在水声探测系统中，每个节点都应必须由自己唯一的身份证明（ID），以确认上位机收到的每个数据包由那个节点采集，这对数据的定位至关重要，除此之外，每一个节点还具备IP地址、硬件MAC地质等固定信息。初始化系统单数的作用就是要在程序启动后未进入应用层前完成这些固定参数的初始化操作，并将每个固定参数保存至FLASH闪存中，使其数据断电后不丢失。

* 中断注册

处理器与FPGA之间的数据传输时序控制由GPIO口实现，处理器需事先将相关的GPIO引脚通过中断注册函数注册到中断服务程序中，当检测到I/O中断shi ，触发执行中断处理程序。除了GPIO外，串口也需要注册中断服务程序。

* DDR驱动

配置DDR控制器的相关寄存器，实现处理器与DDR之间的数据交互；

* FLASH驱动

配置SPI接口控制器的相关寄存器，实现处理器与SPI FLASH之间的数据交互，用于保存一些系统的固定参数；

* 串口驱动

串口的主要功能是为了实现处理器对AD数据的接收（RS485）以及后期的调试（RS232），RS485的波特率应配置为12800，RS232波特率配置为9600；

* PCIe驱动

配置PCIe控制器，实现处理器与FPGA之间的数据传输。当系统触发GPIO中断时，根据中断触发引脚的不同，中断服务程序通过PCIe接口向FPGA的双口RAM中交替发送声波数据。

* DMA驱动

配置DMA控制器，实现处理器与FPGA之间数据的直接搬运，使处理器只需进行搬运前期的配置，搬运过程中不需参与。减少系统延时。

* 网络驱动

设计以太网网络层以上协议不改的前提下自定义数据链路层协议，实现网络通信，传输速率至少达到300Mbps以上。

系统应用单元的任务是实现一套完成的采集传输系统业务逻辑，所有业务逻辑按功能划分可分为命令接收模块、命令处理模块、数据采集传输模块和诊断模块，其相关描述和设计决策如表3所示：

表3 系统应用单元

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **名称** | 系统应用单元 | **标识** | JD\_WLQD |
| **用途** | 接收传输链路上的命令，分析处理发往本地的命令，采集传输声波数据，诊断芯片、接口故障 | | |
| **设计决策** | | | |
| **设计需求** | | **设计约束** | |
| 实现一套完整的顶层业务逻辑，包括响应命令、采集传输数据和诊断故障 | | 命令的接收处理及回应需在1秒内；  以2ms一个节拍发送数据包 | |

系统应用单元各模块功能如下：

* 命令接收模块

接收传输链路上传的命令，判断命令是否发往本节点，如果是，则命令有效，将命令散转到命令处理过程中，且命令的接收处理及回应需在1秒内。如果不是，则丢弃。

* 命令处理模块

针对不同的命令，进行相应的处理，并发送回应。命令的处理及回应需在1秒内。

* 数据采集与发送模块

将水声数据通过RS4855搬运到处理器中，响应外部2ms一个节拍的中断，将水声数据或者处理器自行产生的自检数据进行打包后通过PCIe接口发送到FPGA，最终由FPGA传输至数据汇聚系统。

* 诊断模块

根据上位机命令实现节点内串口（RS232,RS485）、网络、处理器与SPI Flash、处理器与DDR以及处理器与FPGA共五个方面的通信检测，并反馈结果给上位机。

### 4.2.2 外部接口设计

采集传输子系统与数据汇聚子系统之间通过自定义的接口协议互相传输数据和信息。清晰的协议接口能够节省系统不必要的开销，提高整个系统的性能；灵活的协议接口设计能够使系统在前期开发和后期维护中，具有很大的扩展空间；同时，在外部协议接口加入适当的检验码纠错还能够增加系统的可靠性。因此，采集传输子系统的自定义协议外部接口设计相当重要。

采集传输子系统外部接口可理解为OSI模型中的数据链路层接口，主要实现采集传输节点与数据汇聚系统之间的网络通信，其协议帧格式为网络监听帧头SAV配上数据包DATA形式，协议具体结构如图4.3所示：

图4.3：底层外部接口结构图

数据包的检测通过SAV来识别，SAV的固定构成为{6’h2A,6’h2A,6’h2A,6’h2B}，大小为4\*6bits，当检测到SAV后立刻获取数据包主体。

数据包中包含数据包头HEAD、包头CRC校验、真实传输的有效数据DATA以及有效数据的CRC校验。包头HEAD长度为11字节，包括目的地质IP、源地址IP、有效数据长度、数据包传输方向、端口、作用类型以及2字节的数据保留位。

有效数据DATA可以为真实采样的水声数据、上位机下发的命令数据或者采集传输节点的命令回应信息等。

## 4.3 本章小结

本章从硬件和软件两个方面对基于ARM的海洋油气勘探水深探测系统进行了总体设计。硬件系统主要包括一个LS1024处理器和一个FPGA，两个芯片之间通过PCIe与GPIO中断接口实现数据传输。软件系统由三个单元组成，包括BOOT启动单元、系统初始化单元和系统应用单元，并大致介绍了各系统单元的功能及其内部结构。最后介绍了采集传输系统的外部接口，给出了协议帧的具体框架并做简要介绍。