# **软件详细设计**

在本文研发的基于ARM的海洋油气勘探水声探测系统软件中，由自主研发的通信协议确定外部接口，由PCIe实现CPU与FPGA之间的高速数据传输，由命令接收模块、命令处理模块实现节点与上位机的命令交互，由数据采集发送模块实现声波数据的上传，由板内诊断模块和链路诊断模块协同完成诊断系统。整个节点软件基于自主研发的系统框架研发。本章将首先介绍采集传输系统的外部接口，然后描述系统的主线流程，再详细介绍主线流程下各个模块，论述命令交互、采集传输和故障诊断功能的具体实现。

## 5.1 外部接口

本论文研究设计的采集传输系统针对传输速率指标及小型化指标专门设计了清晰、灵活、可靠性强的外部接口，并基于该外部接口研发了采集传输系统的软件实现及故障维护。

整个外部接口可总体概括为传输协议、命令协议、数据协议、处理器与FPGA之间的交互协议以及CRC可靠性验证五个模块，下面将逐个进行介绍。

### 5.1.1 传输协议

传输协议定义了上下行链路通信的帧格式，为实现数据的监听、接收、转发和验证提供整体规范，其具体格式如图5.1所示。

图5.1：外部接口传输协议结构图

传输协议帧格式为网络监听帧头SAV配上数据包DATA的形式，数据包的检测通过网络监听帧头SAV来识别，SAV的固定构成为{8’AA,8’hAA，8’hAB}，大小为3\*8bits，当检测到SAV后，FPGA通过FIFO或者RAM缓存得到一个包的数据，再对包头目的地址进行判断，若目的地址是本地地址则将数据缓存到用以存放本地数据的ram中，若目的地址不是本地地址，则将数据缓存在存放转发数据的ram中。监听处理流程如图5.2所示：

图5.1：数据包监听处理流程

数据包主体由头部和数据两部分组成。头部大小为12Bytes，包括2Bytes的目的IP地址，2Bytes的源IP地址，2Bytes的长度信息，1Byte的方向信息，1Byte的端口信息，1Byte的功能选择信息，2Bytes的保留字节以及1Byte的头部CRC校验码。

IP内容主要区分广播包与IP指定包。广播包统一格式为255.255，IP指定包第1个字节固定为192，第二个字节确定节点地址。当接收到目的IP地址为255.255时，接收并转发给处理器，当检验到目的地址为192.xxx时，与本地地址进行校对，若向同，转发给处理器，若不同则转发给下一个节点；若目的地址为其它格式，则直接丢弃。

IP信息定义表参照如表5.1所示：

表5.1 IP信息定义表

|  |  |
| --- | --- |
| 具体意义 | IP(2Bytes) |
| 广播包 | 255.255 |
| IP指定包 | 192.XXX(0 - ?) |

Length中携带了后面Data部分的整体数据长度（不包括Data后面的CRC部分），根据系统指标可得出最大数据包大小为Bytes，故Length的长度取2Bytes。其中2代表2毫秒，数据包每两毫秒传输一次，12代表采样率12kHz，16代表声通道数，24代表分辨率，除以8换算成字节单位。

Direction内容确定硬件上双环路的数据包传输方向，数据包在默认情况下，左右交替发送数据包，当一边链路故障时，不交替发送，所有的数据包都从链路正常的一端发送。内容解析如表5.2所示：

表5.2 Direction字节定义信息表

|  |  |
| --- | --- |
| 具体意义 | Direction(1Byte) |
| 左向 | 0x01 |
| 右向 | 0x02 |
| 双向 | 0x03 |

Port中的内容用于软件内容的判断逻辑。功能选择信息主要用来指示该包数据用于实现的功能，主要分为数据包发送端口、命令包接收及响应端口、调试信息上报端口、诊断描述端口和延时测量等。默认设置为数据包，其具体值与相应的功能对应如表5.3所示：

表5.3 Port字节定义信息表

|  |  |
| --- | --- |
| 具体意义 | Function Select(1Byte) |
| 数据包发送端口 | 0x00 |
| 命令包接收及响应端口 | 0x01 |
| 调试信息上报端口 | 0x02 |
| 诊断模式端口 | 0x03 |
| 延迟测量端口 | 0x10 |
| 时钟切换端口 | 0x11 |
| 时钟频率切换端口 | 0x12 |

保留字节2Bytes，均默认置1。当功能选择为时钟频率切换时，该保留字节代表将要切换的频率。

### 5.1.2 命令协议

### 5.1.3 数据协议



### 5.1.4 CPU与FPGA交互

数据包类型主要分为2种，一种是采样数据包，另一种是功能包。功能包主要实现延迟测量、时钟切换、时钟频率切换等功能。FPGA实现对数据包头部的解析以及CRC检验。根据解析结果，FPGA将数据包发送至相应模块进行后续处理：

* 若数据包为采样数据包，FPGA将该数据包通过AHB发送模块发送至M3，由软件去实现CRC32校验，校验成功后再由M3通过AHB总线发送至FPGA，loop至下一个节点。
* 若数据包为延迟测量包，对于延迟测量包，只有数据包头部，数据长度为0，FPGA若判定该数据包为延迟测量包，只需继续判定该数据包目标地址是否和本地地址相同。若相同，则FPGA立刻发送一个相同内容的回包；若不同，则loop至下一个节点。
* 若数据包为时钟频率切换数据包，对于时钟频率切换数据包其只有数据包头部，数据长度为0，FPGA若判定该数据包为时钟频率切换数据包，就可以直接获取相应频率切换值进行频率切换。同时将该数据包loop至下一个节点。
* 若数据包为时钟切换数据包，对于时钟切换数据包，其数据部分包含每个节点地址以及相应的延迟值。FPGA若判定该数据包为时钟切换数据包，应通过AHB发送模块将该数据包发送至M3，由软件去做数据部分的CRC32校验并获取相应的延迟值。CRC32校验成功之后再由M3通过AHB总线将数据发送至FPGA，loop至下一个节点。

根据以上分析，FPGA总体设计结构主要包括3部分，分别是LVDS数据收发模块，内部AHB总线传输模块以及相应的RAM缓存模块，其基本结构可参考下图：

### 5.1.5 CRC校验

对于包头部分，由单独的CRC校验码对包头进行单独的CRC校验。包头CRC校验采用CRC-8校验方式，因此包头CRC长度为1Byte。

数据部分则是网络包的主要内容，分为控制命令和实际采集数据，其长度不确定，但长度信息可以通过包头的Length值得到，同样，数据部分也有单独的CRC校验码用来进行数据部分的CRC单独校验。数据部分的CRC校验采用CRC-32校验方式，因此数据部分的CRC长度为4Bytes。

关于CRC校验，CRC分组码码组由信息码元和检验码元两部分构成，其中信息码元为当前数据包的原始数据，检验码元为软件通过CRC添加的拓展位，其结构如下图所示：

实现CRC校验拓展，需要生成一个二进制多项式作POLY，其与拓展位的关系为（拓展位的位数=生成多项式的位数 - 1）。而结合整体数据包的结构形式，其又符合另外一个公式：

CRC码的计算方式类似于模2除法，从高位部分开始，数据位与选择的多项式进行由高位到低位计算，每次计算所得到的余数过程通过按位异或的结果得到，之后作移位计算，计算结果可参考如下案例：

在FPGA完成该功能前，需要考虑以下两个公式：

最佳的考虑方式：保证带宽一定的使用率情况下，减少CRC部分所消耗的时间，从而确保传输不受到影响。

数据包数据部分的校验由软件实现，使用CRC-32校验方式，因此数据部分的CRC长度为4bytes。其实现原理和CRC-8类似。

## 5.2 系统主线



## 5.3 命令交互

### 5.3.1 命令接收模块

介绍节点从数据接收到发送整个流程



### 5.3.2 命令处理模块

介绍接受桥接命令，各模块间间交互流程，给出整个交互框图；



### 5.3.3 命令种类



## 5.4 数据交互

### 5.4.1 实现机制

### 5.4.2 乒乓缓存

### 5.4.3 数据采集发送模块

## 5.5 故障诊断

### 5.5.1 链路诊断

### 5.5.2 板内诊断

### 5.5.2.1 FPGA诊断

### 5.5.2.2 串口诊断

### 5.5.2.3 网络诊断

### 5.5.2.4 闪存诊断

### 5.5.2.5 内存诊断

## 5.6 本章小结