分类号 密级

UDC注1

**硕士专业学位论文**

**基于ARM的海洋石油探测数据传输系统**

**软件设计**

（题名和副题名）

**陈祖现**

（作者姓名）

**指导教师姓名**

**学 位 类 别 工程硕士**

**学 科 名 称 电子信息技术及仪器**

**研 究 方 向 嵌入式系统**

**论文提交时间 2017.12**

注1：注明《国际十进分类法UDC》的类号。

**声 明**

本学位论文是我在导师的指导下取得的研究成果，尽我所知，在本学位论文中，除了加以标注和致谢的部分外，不包含其他人已经发表或公布过的研究成果，也不包含我为获得任何教育机构的学位或学历而使用过的材料。与我一同工作的同事对本学位论文做出的贡献均已在论文中作了明确的说明。

研究生签名： 年 月 日

**学位论文使用授权声明**

浙江大学有权保存本学位论文的电子和纸质文档，可以借阅或上网公布本学位论文的部分或全部内容，可以向有关部门或机构送交并授权其保存、借阅或上网公布本学位论文的部分或全部内容。对于保密论文，按保密的有关规定和程序处理。

研究生签名： 年 月 日

# 致 谢

# 摘 要

**关键词：**海洋石油探测，ARM NXP，PCIe，数据传输，高速差分信号

# Abstract

II

**Key word:**

# 目 次

[致 谢 I](#_Toc499426608)

[摘 要 II](#_Toc499426609)

[Abstract III](#_Toc499426610)

[目 次 4](#_Toc499426611)

[1 绪论 6](#_Toc499426612)

[1.1课题背景与意义 6](#_Toc499426613)

[1.2海洋油气地震勘探简介 7](#_Toc499426614)

[1.3国内外相关技术研究现状 8](#_Toc499426615)

[1.3.1国外研究现状 8](#_Toc499426616)

[1.3.2国内研究现状 9](#_Toc499426617)

[1.4课题研究内容 9](#_Toc499426618)

[1.5本文组织结构 10](#_Toc499426619)

[2 相关技术介绍 12](#_Toc499426620)

[2.1 嵌入式CPU 12](#_Toc499426621)

[2.2 PCIe和DMA 12](#_Toc499426622)

[2.3 高速差分传输 13](#_Toc499426623)

[2.4 事件驱动编程 13](#_Toc499426624)

[2.5 本章小结 13](#_Toc499426625)

[3 系统总体结构 14](#_Toc499426626)

[3.1 系统指标 14](#_Toc499426627)

[3.2 系统整体结构 14](#_Toc499426628)

[3.2.1 人机交互系统 14](#_Toc499426629)

[3.2.2 数据汇聚系统 14](#_Toc499426630)

[3.2.3 数据传输系统 14](#_Toc499426631)

[3.2.4 数据采集系统 14](#_Toc499426632)

[3.3 本章小结 14](#_Toc499426633)

[4 数据采集系统总体设计 15](#_Toc499426634)

[4.1 数据采集系统硬件设计 15](#_Toc499426635)

[4.2 数据采集系统软件设计 15](#_Toc499426636)

[4.2.1 节点外部接口设计 15](#_Toc499426637)

[4.2.2 节点模块划分 15](#_Toc499426638)

[4.2.3 节点模块间接口设计 15](#_Toc499426639)

[4.3 本章小结 15](#_Toc499426640)

[5 数据采集系统软件详细设计 16](#_Toc499426641)

[5.1 重要数据结构 16](#_Toc499426642)

[5.2 主要处理流程 16](#_Toc499426643)

[5.2.1 主线程流程 16](#_Toc499426644)

[5.2.2 命令交互流程 16](#_Toc499426645)

[5.2.3 数据交互流程 16](#_Toc499426646)

[5.3 驱动设计（重点介绍） 16](#_Toc499426647)

[5.3.1 自定义协议 16](#_Toc499426648)

[5.3.2 NXP与FPGA交互设计 16](#_Toc499426649)

[5.4 本章小结 16](#_Toc499426650)

[6 系统测试与结果 17](#_Toc499426651)

[6.1 测试环境 17](#_Toc499426652)

[6.2 测试内容与结果 17](#_Toc499426653)

[6.2.1 高速数据传输 17](#_Toc499426654)

[6.2.2 采集处理显示 17](#_Toc499426655)

[6.3 本章小结 17](#_Toc499426656)

[7 总结和展望 18](#_Toc499426657)

[7.1 总结 18](#_Toc499426658)

[7.2 展望 18](#_Toc499426659)

[参考文献 19](#_Toc499426660)

[附 录 20](#_Toc499426661)

# 1 绪论

## 1.1课题背景与意义

随着现代化工业的迅速发展，能源已经成为现代化发展不可或缺的一部分，而石油在能源中又占领着举足轻重的地位。伴随着我国经济的高速发展，对石油的需求也越来越大，石油需求的缺口已经逐渐影响到我国常规能源结构的战略安全。为了缓解石油能源的紧缺，我国在积极寻找国外石油资源的同时，也加大了国内石油的勘测和开发。据统计[]，自2000-2017年全世界新增加的油气中有70%以上来自海洋。另外，在深海区域中发现的油气占全世界新增能源的50%以上，这充分说明深海区域内的油气储藏量已经成为当下能源的主要承载者。

中国具有十分广阔的海域，也具有十分丰富的海洋油气资源储藏量，潜力巨大。在我国南海区域，有着被称为第二个波斯湾的海洋油气积聚区，与波斯湾，欧洲北海和墨西哥湾并称为世界四大海洋油气积聚区。然而，截至目前，主要的海洋油气勘测技术及设备依旧掌握在外国人手中，进口国外的海洋油气勘测设备需要支付高昂的费用。因此，研究具有自主知识产权的海洋油气勘测技术，生产具有自主知识产权的海洋油气勘测设备，打破国外海洋油气勘测技术垄断，实现我国在深海油气勘测技术领域的跨越式发展，具有重大意义。

迄今为止，人们发现的能在水中传播的能量主要是电磁波和声波，由于电磁波在水下衰减十分厉害，而声波根据频率的不同在水中远距离变化很大，例如自然地震产生的声波传输距离为100-5000km级别。因此，水声探测技术在海洋勘测技术领域中占有着非常重要的地位。地震勘探技术是水声探测技术的一种典型应用，也是目前海洋油气勘探的主流技术。海洋地震勘测设备主要由空气枪，拖曳线缆系统，电子控制系统组成。空气枪作为人工震源向海底发送声波，拖曳线缆系统种含有多个水听器及声波数据采集传输模块，电子控制系统负责拖曳线缆中水听器接收的声波数据的汇聚与记录。大型的海洋地震勘测设备中有数百个水听器，拖缆线阵的长度也是达到了数十千米。如何实现水听器数据的同步采集与传输是海洋地震勘测技术的关键。

所以在海洋油气勘测如此严峻的形势下，开发设计成熟、稳定、低成本的海洋地震勘测数据同步采集传输系统具有非常重要的工程价值。本文利用驱动编程技术，设计并开发了基于PowerPC处理器的嵌入式数据汇聚模块以及基于NXPARM处理器的嵌入式同步数据采集传输模块，实现了海洋地震勘测设备多路水听器数据同步采集传输功能。系统可靠，成本低，为实现大规模海洋油气勘测提供了可靠的解决方案，具有非常高的使用价值。

## 1.2海洋油气地震勘探简介

海上地震勘探与陆地地震勘探，原理和方法相同，但由于海洋这一特殊勘探环境，因此海上地震勘探与陆地上还是有所区别，主要表现在定位导航系统、震源激发和对地震波的接收方法方面。海上的定位系统必须选择精确度较高的导航定位系统。就目前而言，主要是采用是卫星导航定位（GPS）、激光定位和水下声纳定位等。现在海上地震勘探的导航定位系统已发展成为一整套的专门技术可随时确定航船及其拖着的震源和检波器的精确位置，极大地提高了海上地震采集的定位精度，改进了地震采集的质量。

在海上地震勘探中，地震波的激发方式和陆地上的也有所差别，主要采用非炸药震源，包括空气枪震源、蒸汽枪震源、电火花震源等，其中空气枪震源占95%以上。

海上地震勘探的地震波接收方式也与陆地上的不一样，一般采用一艘作业船拖着长拖缆（也叫等浮电缆）在海上航行，接受地震波的传感器按一定排列方分布在拖缆中，拖缆在水中由船拖曳前行，拖缆上固定一定数量的水鸟装置（来控制拖缆深度），前行时通过水鸟翼角与海水相互作用来控制拖缆深度。目前，已经发展形成了一套完整的水下拖缆地震波数据采集系统。

在海上进行地震勘探作业时，地震勘探船拖曳着等浮电缆和震源系统以一恒速沿预先设定的测线前行，根据测线上分布的炮点放炮（两个相邻炮点的位置称作炮间距），由于船速恒定，因此放炮时间也是等间隔的。由于海上不像陆地上受各种地形和地上各种障碍物限制，所有在海上进行地震勘探时，地震测线可以均匀分布，作业过程可以连续无间断进行。用于接收来自水下等浮电缆釆集到地震数据的设备放置在地震船上，地震船上还设有卫星导航定位系统，用来对地震船进行定位，导航定位系统和水下拖缆上的定位控制系统共同完成对等浮电缆中各地震数据采集通道进行精确定位，此外，震源系统可以在同一条船上也可以在不同的船上。

海上地震勘探与陆地地震勘探相比，还具有勘探效率高，勘探成本低和地震数掘信噪比高等优点。

同陆上地震勘探一样，海上地震勘探也主要分为地震资料的采集、处理和解释三大环节。地震资料的采集就是地震波的激发，地震波模拟信号接受，对地震波模拟信号放大、滤波和数字化，数字化后的地震波数据汇聚，最终记录到磁带上;地震资料的处理就是把磁带或其它介质记录下来的地震数据进行一系列的数据转换和处理，最终形成地质剖面图；地震资料解释是地震勘探的最后一步，根据得到的地震剖面图等图像信息确定地质结构，分析油气资源的蕴藏情况，一般由富有经验的地质专家进行。

海上地震勘探一般采用地震勘探船拖曳震源和等浮拖缆的方式进行，如图

给出海上地震波反射法勘探图

## 1.3国内外相关技术研究现状

地震勘探技术是在波动理论逐步建立的基础上逐步发展起来的，反射波地震法始于1913年，但由于在仪器制造方面的困难，反射波法直到1927年才真正得到工业应用。海洋地震勘探始于1944年，1949年首次采用等浮电缆，80年代出现遥测地震仪，90年代出现海底电缆。随着地震勘探技术以数字化为主要标志的迅速发展，地震勘探仪器向遥测遥控、高釆样率、超多道发展；发展非炸药震源，更高的覆盖次数观测，发展高分辨率勘探、三维勘探等等，以解决复杂构造、深层构造、地层岩性圈闭等问题。

### 1.3.1国外研究现状

目前，全球地震勘探仪器的发展处于24位遥测地震仪和全数字遥测地震仪的过渡期，经过几十年的发展，基本形成了以法国Schlumberger公司、serce1公司、美国ION公司、HTI公司为主体，其他公司依据自身优势与条件不断寻求生存空间和发展机遇的市场格局。

法国Schlumberger公司开发出的“Q-Marine”海上采集系统是世界上最先进的海上地震勘测仪器。该系统可以同时拖曳多达20根等浮电缆，每根长12km，带有4000多个水下检波器，并在检波器灵敏度和定位准确度、可调整拖缆、强化震源控制和点检波器采集等方面取得改进，能够提供质量无可比拟的海上地震数据。

法国SERCEL公司是全球领先的地震勘探设备供应商之一，提供了以SEAL为命名的勘探设备，主要包括由拖缆数据采集系统、数字包、通信接口组成的海上系统和电源模块、控制模块组成的船上系统。拖缆是水听器线列阵组成的，缆体直径小子50mm，移动存储方便，系统组成灵活度高。该公司目前最新的海洋地震勘探设备型号是Seal428。

美国ION公司（原美国I/O公司），在1990年左右只能生产勘探系统辅助设备，如今已成为世界第二大勘探设备供应商。ION公司率先使用了高性能的基于MEMs的全数字检波器，也就是当代第六代地震仪的核心技术。ION公司的成功与其尖端的技术和多元化的产品性能是分不开的。该公司的设备用途广泛，可于石油勘探、环境监测等多个方面。

美国HTI公司提供的油藏勘探的整体解决方案以SeaMUX命名，采用22AWG双绞线作为拖缆电源及信号线，而且拖缆具有双向连接接口，安装调试极为方便。此外，加拿大的Geo-X公司，美国的FairField公司等几家公司也提供相关产品。表1-1列出了部分国外公司的产品及相关的产品特点。

表1-1部分国外公司产品

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 公司 | 产品型号 | 最大通道数 | 产品特点 |
| Schlumberger | Q-Marine | 80,000（多缆） | 精确度高 |
| SERCEL | Sentinel | 1260 | 拖缆直径小于50mm、系统灵活度高 |
| ION | DigiSTREAMER | 19,200（多缆） | 系统智能化程度高 |
| HTI | SealMUX | 960 | 拖缆双向链接 |

### 1.3.2国内研究现状

从60年代起，我国海上石油地震勘探工作从无到有并迅速发展。1962年在海南岛以南浅水地带开始海上地震勘探，1964年转移到渤海，从60年代后期起，在南海、北部湾、东海和珠江口等海域也相继开展了地震工作。在1973年下半年，引进了一台适合海上作业的SN338B型数字地震仪，同时还引进了等浮地震电缆。这是我国第一套海上地震数据采集设备。1999年，引进美国Fairfied公司最新研制的BOX采集系统。这是一套使用24位模数转換器、并且总道数达到1800道的水上地震数据采集系统。

进入新世纪之后，随者国家对海洋开发的重视，国内越来越多的科研单位院校开始进行油气勘探设备——拖曳阵声纳系统的相关研究。相比传统压电式水听器，光纤式水听器具有的动态灵敏度高，动态范围大等优点，因此对更容易探测到微弱信号。在检波方面，清华大学的廖延彪教授使用PGC光纤干涉型水听器实现海样地震信号的检波；国防科技大学的胡永明使用渡波提高光纤水听器抗混叠能力四。在数据采集和传输方面，中科大的宋克柱使用型ADC和流水线结构优化了声纳数据的远距离釆集和传输；天津大学的段发阶教师仔细分析了声纳信号的特点，使用低噪声的差分放大电路和中等传输速度的LVDS方式，实现了较高分辨率的声呐数掘采集与传输。在阵列波束形成方而，西北工业大学的马良远使用二价锥规划方法实现了范数约束Capon波東形成器对角加载量的一种求解方法。除此之外，国内也有众多科研单位和企业对声呐技术进行了研究，取得了可喜的成果。但是，总的来说，我国还处于海洋声呐技术研究的初步阶段，缺少自主的具有实用性的海洋声纳探测系统，是我国海洋声纳勘探技术发展的现状。

## 1.4课题研究内容

本文基于ARMNXP处理器平台，设计节点模块负责海底声纳数据的采集传输。在以太网的基础上自主研发通信协议，并编写利用PCIe接口与FPGA实现通信的驱动程序，最终实现数据的稳定高速传输。

## 1.5本文组织结构

# **2 相关技术介绍**

本论文研发的。。。

## 2.1 嵌入式CPU

随着微电子技术及计算机技术的。。。

## 2.2 PCIe和DMA

PCI-Express（官方结写为PCIe），是一个高速串行计算机总线标准，是Intel公司在2001年为了替代老的PCI和AGP标准而提出的。在2002年，PCI特殊兴趣小组拟定并推出了PCI-Express1.0标准。在2003年，PCI-Express 1.1标准推出，对一些规范进行了进一步的声明和定义。在2007年，PC1-Express 2.0标准推出，X1棋式的数据传输速率达到了500MB/s，与PCI-Express1.1标准相比提升了一倍。更进一步的，X4模式能够达到2GB/s的数据传输速率，而最高的X32模式能够达到l6GB/s的数据传輪速率。

既然PCI-Express总线支持这么高的数据传输带宽，那么如何才能充分利用这些带宽呢？如果使用CPU来直接负责整个数据传输过程，由于一般的嵌入式CPU并不具备非常高的主频，那么必将会拖慢整个数据传输任务的整体带宽；同时，在进行大数据传输时，这也会消耗过多的CPU资源，使得CPU无法去执行系统中的其它任务。在这种情况下，通常会选择使用PCI-Express专用的DMA控制器来进行实际的数据传输。

DMA（Direct Memory Access，直接内存访问）是一种允许外设在不使用系统处理器的情况下访问系统主内存的硬件机制。CPU只需要对DMA控制器进行相应的配置，后续的数据传输任务由DMA控制器来完成，从而大大减轻了CPU的负担，提高了系统的处理能力。

但DMA通常会导致缓存一致性问題。因为现代的CPU都是带有最存（cache）的， CPU直接读写的是缓存中的数据，而DMA访问的是外部内存中的数据。那么就会出现以下两种情况：

1．CPU更新完缓存中的数据后，没有将相应的数据更新到外部内存中，导致DMA访问到的是外部内存中旧的数据。

2．DMA更新外部内存中的数据后，缓存没有进行相应的数据更新，导致CPU访问到的是缓存中旧的数据。

对于这个问題，一般有两种解决方法：

1．使用一致性内存（coherent memory）：由硬件来确保缓存和外部内存的数据一致性。当DMA写外部内存时通知缓存控制器更新相应的数据，当DMA读外部缓存时将缓存中的数据全部清空到外部内存中 。

2．对子使用非一致性内存（non-coherent memory）的系统，使用软件的方式来完成。当CPU读缓存中的数据时，由軟件来确保缓冲中的数据是有效的；当DMA读外部内存中的数据时，由软件来确保外部内存中的数据都是有效。

当包含PCI-Express总线接口的系统之间需要进行高速数据传输时，通常会使用PCI-Express Switch芯片进行系统级互联，IDT公司的89HPES12NTl2G2是一款高性能的PCIe Switch意片，专为PCI-Express Gen2包交换而优化，包含12个通道和12个端口，支持多个同时进行的点到点数据流，支持PCI-Express Gen1和PCI-Express Gen2包交换。此外，89HPES12NT12G2支持非透明桥（non-transparent bridge）功能，可以初始化和翻译地址和设备ID，实现跨PCI-Express域的数据交互；集成DMA控制器，可以在不加重CPU负载的情况下进行高速的数据传输。

## 2.3 高速差分传输

这一块目前还没想好，是只讲一下高速查分的大致原理，例举一下当前比较热门的几种差分传输技术CML，LVDS，PECL，重点介绍下CML运用于本文的，还是可以不写？

## 2.4 事件驱动编程

事件驱动编程是。。。

## 2.5 本章小结

本章重点针对。。。

# **3 系统总体结构**

## 3.1 系统指标

## 3.2 系统整体结构

介绍系统总体结构

### 3.2.1 人机交互系统

### 3.2.2 网关系统

### 3.2.3 数据传输系统

### 3.2.4 数据采集系统

## 3.3 本章小结

# **4 系统总体设计**

## 4.1 系统硬件设计

附上总体设计框图

## 4.2 系统软件设计

### 4.2.1 节点外部接口设计

节点与节点间通过自定义协议进行命令和数据的传输；

### 4.2.2 节点模块划分

数据接收模块，数据整理模块，数据发送模块，命令管理模块。。。

### 4.2.3 节点模块间接口设计

设计不同命令进行模块间交互

## 4.3 本章小结

# **5 数据采集**系统**软件详细设计**

## 5.1 重要数据结构

介绍包括自定义协议及顶层业务逻辑在内的整体数据结构

## 5.2 主要处理流程

### 5.2.1 主线程流程

介绍节点从数据接收到发送整个流程

### 5.2.2 命令交互流程

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；

### 5.2.3 数据交互流程

## 5.3 驱动设计（重点介绍）

### 5.3.1 自定义协议

### 5.3.2 NXP与FPGA交互设计

## 5.4 本章小结

# **6 系统测试与结果**

## 6.1 测试环境

可否拿实验室测试环境

## 6.2 测试内容与结果

### 6.2.1 高速数据传输

验证新设计的协议达到的速率

### 6.2.2 采集处理显示

主控界面

## 6.3 本章小结

# **7 总结和展望**

## 7.1 总结

## 7.2 展望

# 参考文献

# 附 录