专家1:

|  |  |
| --- | --- |
| 论文选题 | 优 |
| 文献综述 | 优 |
| 理论基础和专业知识 | 优 |
| 创新性水平 | 良 |
| 论文工作期间的科研成果 | 优 |
| 作者独立从事科研的能力 | 优 |
| 中英文表达水平 | 优 |
| 评价人对论文水平的总体评分（百分制） | 90 |
| 论文可否进行答辩： | 同意答辩 |

论文针对高海拔空气簇射观测站项目中水契伦科夫探测器电子学系统对时钟信号的具体要求，开展了高精度时钟分发和同步技术的研究，论文选题明确，具有实际应用意义。

通过对光纤和电子学收发器件的温度特性研究，理清了系统中受温度影响的各项因素，提出了基于延时增量的分配方法，设计了基于FPGA的高精度相位调节方法，经过实际测试，同步精度好于100ps，达到系统设计要求。在此基础上，作者完成了原理样机的设计、调试和性能测试。

论文结构清晰、叙述清楚、实验数据真实可信，表明了作者具有扎实的电子学学科理论基础和较强的科研动手能力。同意论文答辩。

专家2：

|  |  |
| --- | --- |
| 论文选题 | 优 |
| 文献综述 | 良 |
| 理论基础和专业知识 | 优 |
| 创新性水平 | 良 |
| 论文工作期间的科研成果 | 良 |
| 作者独立从事科研的能力 | 优 |
| 中英文表达水平 | 良 |
| 评价人对论文水平的总体评分（百分制） | 88 |
| 论文可否进行答辩： | 同意答辩 |

研究宇宙线起源之谜的LHAASO大科学装置，其特点是海拔高，昼夜温差大，分布面积广，建造困难。论文课题以LHAASO的核心探测器之一的WCDA的读出电子学时钟同步与数据传输为研究课题，选题有重要的实用意义。

论文对WCDA读出电子学的关键技术从以下三个方面进行了研究：

1.在PTP协议和White Rabbit协议的基础上，提出了基于延时增量分配的新型的时钟相位同步技术，使得在-10 ℃ ~ 60 ℃的温度范围内同步精度好于100 ps（peak to peak）的时钟相位同步。然后利用FPGA GTP进行相位调节，在保持对称调相结构的同时，减小调相步长进一步提升时钟同步精度，获得了时钟相位同步精度好于70 ps的结果。

2.在FEE上基于SiTCP实现了高速的TCP/IP数据传输，单个FEE的数据率可达约400 Mbps，多个FEE同时传输的数据率也能达到约180 Mbps，可以满足WCDA读出电子学的要求。同时为了进一步探索TCP/IP数据传输技术，基于高层次综合工具HLS设计了TCP模块。TCP模块可在FEE上完成TCP/IP数据打包，其传输速度可达约190 Mbps。

3.将高精度的时钟相位同步，TCP/IP数据传输与WR标准相兼容，在一根光纤上实现时钟，数据和命令的融合传输。

对于实用数据读出系统，系统的状态需要进行实时监测与报警。文中相关介绍不足。

论文结构合理，论述清晰，达到了博士论文的要求，同意其进行博士答辩。

专家3：

|  |  |
| --- | --- |
| 论文选题 | 优 |
| 文献综述 | 良 |
| 理论基础和专业知识 | 优 |
| 创新性水平 | 优 |
| 论文工作期间的科研成果 | 良 |
| 作者独立从事科研的能力 | 优 |
| 中英文表达水平 | 良 |
| 评价人对论文水平的总体评分（百分制） | 90 |
| 论文可否进行答辩： | 同意答辩 |

论文“LHAASO WCDA读出电子学时钟同步与数据传输研究” 针对LHAASO大区域数据传输对时钟的要求，开展大范围时钟分发关键技术的研究，选题具有重要的理论意义和实际应用价值。

论文的主要研究工作和创新点如下：

1. 在PTP协议和White Rabbit协议的基础上，提出了基于延时增量的分配方法，保持对称的调相结构，降低了调相模块的复杂度。在-10°C ~60°C的温度范围内可同步精度好于100 ps。

2. 在FEE上基于SiTCP实现了高速的TCP/IP数据传输，单个FEE的数据率可达约400 Mbps，多个FEE同时传输的数据率达到约180 Mbps，可以满足WCDA读出电子学的要求。

3. 将高精度的时钟相位同步，TCP/IP数据传输与WR标准相兼容，在一根光纤上实现时钟，数据和命令的融合传输。

文条理清楚，层次分明，重点突出，文笔流畅，学风严谨，书写格式及图表基本规范，英文摘要语句流畅。

本项论文工作反映出作者很好地掌握了本学科坚实宽广的基础理论和系统深入专门知识，有较强的分析和解决问题的能力。

论文工作达到了博士论文的要求，建议进行博士答辩。

专家4：

|  |  |
| --- | --- |
| 论文选题 | 优 |
| 文献综述 | 良 |
| 理论基础和专业知识 | 优 |
| 创新性水平 | 优 |
| 论文工作期间的科研成果 | 优 |
| 作者独立从事科研的能力 | 优 |
| 中英文表达水平 | 优 |
| 评价人对论文水平的总体评分（百分制） | 95 |
| 论文可否进行答辩： | 同意答辩 |

LHAASO是我国科学家提出并正在建设的大型高海拔科学实验观察站，实验场地范围大，前端分布式数据获取系统处于高海拔自然环境条件下，对读出电子学系统的时钟同步和数据传输都有着特殊的要求，论文针对这一特殊要求，开展LHAASO WCDA读出电子学时钟同步与数据传输技术研究，论文选题具有重要的科学研究意义。

论文在调研分析目前国际上主要大型科学实验装置所采用的时钟同步技术的基础上，结合LHAASO实验条件及其对时钟同步和数据传输特殊性的要求，提出基于PTP和white Rabbit时钟同步协议的框架，实现高精度时钟同步和高可靠性数据传输的设计方案，完成了电子学设计，并开展了性能测试和方案验证，证明了所提方案的高性能和实用性。论文创新性地提出一种基于延时增量分配的时钟相位同步技术和基于FPGA PLL的高精度调相方法，能够实现在LHAASO实验环境比拟的条件下，好于+-100ps的时钟同步精度；此外，论文所研究的基于高速TCP/IP数据传输技术，能够满足LHAASO分布式数据获取系统的长距离多节点数据传输的需求。

论文工作的完成表明作者已经具有物理电子学及其它相关领域扎实的理论知识和独立的科研工作能力。

论文书写规范，表述清楚

同意论文答辩

专家5：

|  |  |
| --- | --- |
| 论文选题 | 良 |
| 文献综述 | 优 |
| 理论基础和专业知识 | 良 |
| 创新性水平 | 良 |
| 论文工作期间的科研成果 | 良 |
| 作者独立从事科研的能力 | 优 |
| 中英文表达水平 | 良 |
| 评价人对论文水平的总体评分（百分制） | 80 |
| 论文可否进行答辩： | 同意答辩 |

论文以LHAASO实验为背景，研究了WCDA读出电子学时钟同步与数据传输。论文对WCDA读出电子学的关键技术进行了研究，在PTP协议和WhiteRabbit协议的基础上，提出了新型的时钟相位同步技术。本论文首先对光纤和电子学的温度特性展开了研究，提出了基于延时增量的分配方法，其次对基于FPGAPLL的高精度调相方法进行了研究，保持对称的调相结构，降低了调相模块的复杂度。基于以上时钟相位同步方法，在-10°C~60°C的温度范围内可以实现高精度的时钟相位同步，同步精度好于100 ps（peak to peak）。

论文还对相位调节模块展开了进一步研究，采用FPGAGTP进行相位调节，在保持对称调相结构的同时，减小了调相步长，进一步提升了时钟同步精度，在同样的温度范围内，时钟相位同步精度好于70ps。在FEE上基于SiTCP实现了高速的TCP/IP数据传输，单个FEE的数据率可达约400Mbps，多个FEE同时传输的数据率也能达到约180Mbps，可以满足WCDA读出电子学的要求。同时为了进一步探索TCP/IP数据传输技术，基于高层次综合工具HLS设计了TCP模块。TCP模块可在FEE上完成TCP/IP数据打包，其传输速度可达约190Mbps。将高精度的时钟相位同步，TCP/IP数据传输与WR标准相兼容，在一根光纤上实现时钟，数据和命令的融合传输。

从总体上看，这是一篇高水平的博士论文。