附件6

中山大学大学生创新训练项目

申请书

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目编号 | 1 | | |
| 项目名称 | 高性价比实验数字控制系统 | | |
| 项目负责人 | 徐菀优 | 联系电话 | 13550841943 |
| 所在学院 | 物理与天文学院 | | |
| 学号 | 2234160 | 专业班级 | 物理学22级三班 |
| 指导教师 | Thibault Thomas Vogt | | |
| E-mail | ttvogt@mail.sysu.edu.cn | | |
| 申请日期 | 自动获取 | | |

中山大学 教务部

#### 一、 基本情况

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 高性价比实验数字控制系统 | | | | | | |
| 所属学科 | 学科一级类： 物理 学科二级类： 原子与分子物理 | | | | | | |
| 项目来源 | □ A、学生自主选题，来源于自己对课题的长期积累与兴趣  ☑ B、来源于教师科研项目选题  □ C、学生承担社会、企业委托项目选题 | | | | | | |
| 申请金额 | 23700.00 元 | 项目期限 | 一年期 | 拟申报项目级别 | | 国家级 | |
| 负责人 | 徐菀优 | 性别 | 女 | 民族 | 汉族 | 出生年月 | 2003年9月 |
| 学号 | 22344160 | 联系电话 | 手机：13550841943 | | | | |
| 指导教师 | Thibault Thomas Vogt | 联系电话 | 手机：13322866303 | | | | |
| 项目简介 | | 该项目旨在设计一个可广泛用于物理实验终端的高性价比的实时（ms以内延迟）数字监控控制系统。本系统将服务于基于TTL等数字信号和模拟信号的对实验平台数据的采集-运算-回馈输出过程。系统具体实现路线多样，整体思路是：一个核心，多个终端。我们预期这样可以有效处理大计算量、大数据流，并对实验平台进行一体控制。 | | | | | |
| 负责人曾经参与科研的情况 | | 无 | | | | | |
| 指导教师承担科研课题情况 | | 服务于俘获单个铯原子的磁光阱系统，为导师的里德堡离子检测与中性原子计算的比特门搭建提供平台监控控制服务。 | | | | | |
| 指导教师对本项目的支持情况 | | 教师将提供部分基本的元器件器材与电源控制系统并提供一个专用光学实验平台用于系统搭建。 | | | | | |
| 项目组主要成员 | 姓名 | 学号 | 学院 | 专业班级 | 联系电话 | 项目分工 | |
| 卢博宇 | 21305203 | 物理与天文学院 | 物理1班 | 15087364733 | 主要负责FPGA系统总设计及整体的设计封装制造。 | |
| 陈政元 | 21305342 | 物理与天文学院 | 物理3班 | 13534025498 | 主要负责软件总设计，计算框架开发规划。 | |
| 贾浩然 | 22344071 | 物理与天文学院 | 物理学类3班 | 13548082165 | 主要负责ADC\DAC同步通信设计，PC端GPU系统设计，CUDA编程开发。 | |
| 潘嘉锐 | 22344112 | 物理与天文学院 | 物理学类2班 | 13430812188 | 主要负责RTOS系统开发，PC端GPU系统设计，CUDA编程开发。 | |
| 徐菀优 | 22344160 | 物理与天文学院 | 物理学类3班 | 13550841943 | 主要负责CUDA编程跟HDL编程开发。 | |
| 指导教师 | 姓名 | 工号 | 学院/单位 | 职称 | 联系电话 | 电子邮件 | |
| Thibault Thomas Vogt | 190327 | 物理与天文学院 | 副教授 | 13322866303 | ttvogt@mail.sysu.edu.cn | |

#### 二、 立项依据（可加页）

|  |
| --- |
| **1.研究目的**  自主研发并实现一种高性价比的泛终端信息收集、高并行计算处理、多路可控输出的实验室通用数字化智能系统。以此替代实验室现存的大量昂贵的非国产分散低数字化、低智能化实验测量单元、处理单元、显示单元。  预期在高速高信密环境下实现对实验平台的全面集中监测及控制。  **2.研究内容**  本项目将配合Thibault老师名下2024大创组下其它项目开发，旨在取代这些项目中分散的监视、控制单元，并且建立合理的高低速通道以适配需要不同程度的监测控制的器件。因此该系统将由下述几个步骤研究设计完成：  （1） 高低速混杂数字并行信号转串行信号算法探索及硬件实现。  （2） 探索基于RTOS的PC对信号的实时处理与输出。  （3） 以矩阵卷积为主（向量化）的高并行高速数据处理算法探索。  （4） FPGA（现场可编程门列阵）专用电路集成化实现。  （5） 高低速（Analog+Data）双通道解耦输出信号。    整体流程图  **3.国内外研究现状和发展动态**  随着科技的迅速发展，实验系统中需要监控和控制的信号呈现出数量多、种类多、耦合高、高实时性要求的趋势，以往模拟信号和数字信号的混杂传输和处理问题变得愈发显著。在国内的实验系统中，由于多样的测量需求和不同设备的兼容性，模拟信号和数字信号的传输和处理往往存在混乱的现象。这些现象往往导致实验效率不理想、实验精度降低等问题。  一套通用的数字化实验监测控制系统能提高实验效率、提高实验精度，使得实验人员能更加专注于实验而非被繁杂的实验数据采集处理工作缠身。在数字化/计算机领域中，对各层系统的良好封装使得开发人员事半功倍，是整个数字化/计算机领域的迅猛发展的基石。因此，数字化/计算机领域大量已被验证的成功模式可供通用数字化实验监测控制系统搭建时参考。  本项目正是期望借助数字化/计算机领域已取得的成就搭建通用数字化实验监测控制系统解决上述困扰部分物理实验人员的问题，助力物理实验领域的发展。  **4.创新点与项目特色**  **创新点：**  （1）模拟信号转换成数字信号运输并处理的好处有：数字信号传输时信号衰减问题不严重；误差只发生在相互转换时，从而只需在源头处做好误差把控则能方便地控制好误差；数字信号使用强大算力的芯片处理，吞吐量高，响应快。  （2）实验室产生的不同通道数据在时间上同步后，某帧各通道的输出往往由上一帧各通道数据综合计算得到，且此算法下各通道数据输出不存在时间上的依赖关系。将各通道数据收集再施以向量化/高并行的处理手段（主要是矩阵卷积）适合用于高速并行处理具有上述特征的大量数据。  （3）为了应对多样的实验情景，数字化实验监测控制系统被要求设计为通用的；但是往往在特定实验情景下，数字化实验监测控制系统采用专用电路也能胜任任务，而且专用电路节约算力和资源。FPGA被设计为电路可编程，从而可在一块芯片上针对不同实验编程出不同的专用电路，同时FPGA上也具有编程出通用计算电路的能力。因此依托于FPGA芯片进行数据处理的数字化实验监测控制系统相较于依托通用计算电路的系统有相同的监测控制能力（当FPGA与GPU算力相当时），并且更加节省算力和资源。  （4）对于只适合PC的实验场地，我们同样给出基于RTOS传输并实时处理大量、多通道数据的解决方案。  **项目特色：**  通过对实验室数据的富数字化和集中化，针对实验室数据特征充分发挥数字计算芯片的数据处理能力，同时做到更精细、自动化的控制和更人性化的交互功能。  **5.技术路线、拟解决的问题及预期成果**  **技术路线：**  本项目将依赖泛终端的高低速ADC完成数字信号收集，并且建立合理的高低速通道以适配需要不同程度的监测控制的器件。对于高速器件m（≈200）件，预期做到ms级响应控制，泛终端的高速ADC频率至少为20MHz，数字信号线传输速率至少为m\*20KB/s（≈4MB/s）；对于低速器件n（≈100）件，预期做到s级响应控制，泛终端的低速ADC频率至少为20KHz，数字信号线传输速率至少为n\*20B/s（≈2KB/s）。  由于存在大量模拟数字转换和并串行转换，同时还需要做到高低速通道分离，因此存在数据对齐问题，这就需要开发一套通用的、强大的同步机制来解决这个问题。  高速数字信号数据对实时计算性能提出了很高的要求。设使用计算系统并行度为h（一般>m），运行频率为q（对于GPU≈500，对于FPGA≈100）MHz，则要求在1000\*q\*h/m（在105量级）周期中完成计算。看似充裕，实则需要开发良好的I/O和缓存策略配合以避免这些周期被缓存不命中等问题浪费在白白等待数据加载中。  **拟解决问题**：  （1）高低速混杂数字并行信号转串行信号以及高低速（Analog+Data）双通道解耦输出信号需要依赖在同步信号上构建的复杂同步机制。  （2）数字信号需要配合协议使用，为了满足系统需求（RTOS+GPU、FPGA）可能需要采用不同协议或者修改现有协议、独立设计协议以保证协议一致性。  （3）FPGA开发跨越电气和逻辑领域，开发难度较大。  （4）在PC或FPGA体系都需要进行额外调试，以做出针对性的I/O和缓存策略来满足性能要求。  **预期成果**：  基本成果：建立对不同的器件进行差异化的监测控制的合理高低速通道，在RTOS+GPU体系下完成高并行数据处理算法的实现。  理想成果：在FPGA体系下实现对Thibault老师名下2024大创组下开发激光器项目中仪器的全面、自动化、更精细的监测控制。  拓展成果：通过设计的可视化交互接口和外部GUI程序实现图形化界面交互。  **6.项目研究进度安排**  2024年1月-3月：文献学习（初步学习本次项目所需的计算原理），形成基础数字意识，补充电子技术知识，学会使用Git作为工作用信息端。  2024年3月初-3月底：熟悉了解主机系统的模块。  2024年4月初-4月底：整体组装主机系统，开始测试CPU系统。  2024年5月初-7月底：RTOS下GPU（CUDA）计算系统的编程与调试。  2024年8月初-9月底：FPGA（HDL）计算系统的编程与调试。  2024年10月初-11月底：系统硬件封装与GUI等外部人机交互系统的建立。  2024年12月初-12月中：准备结题。  **7.已有基础**  **（1）与本项目有关的研究积累和已取得的成绩**  部分组员曾参加23年大创，以MCU系统部分实现本项目预期实现功能。  在软件编程上，部分同学具有数学模拟竞赛、自动化图像识别项目等计算相关科研训练的参加经历，如有处理超大稀疏矩阵，迭代收敛算法、内外联算法、局域编译、向量化矩阵卷积算法、自动化图形编程、三维空间几何最优问题证明等一系列研究。  在硬件设计上，部分组员有独立设计小单元系统内部PCB结构并实现整体封装的结构或大结构PC端拆解组装的经验，在散热系统设计、电路设计、外壳设计上具有一定经验。  **（2）已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法**  项目中大部分成员已具有从工程制图与CAD、计算方法、计算物理、结构化和面对对象编程（C语言）、电子技术理论与实验等系列课程中掌握的基本相关技能。  而部分组员储备的知识对计算机系统有一个比较全面的涵盖，对计算机I/O、CPU架构、总线体系、操作系统内核、Git（分布式文件系统）有一个初步的认识，对AT&T汇编、C/C++、MATLAB、PowerShell、Python、Wolfram、Haskell、Scheme、LabVIEW等编程语言有初步掌握。  综上，本组完全具有进一步自主学习RTOS、GPU编程（OpenCL/CUDA）、FPGA编程(Verilog/CHISEL)、GUI（WinForms/WPF）系统的能力与基础。  主要困难在于组员之间对计算机了解程度差距较大，而任务量巨大。  目前的解决方案是从开题起就给基础较弱的组员分配明确的学习目标（指向共同未知的独立领域），分担整体压力。 |

#### 三、 经费预算

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **开支科目** | **预算经费（元）** | **主要用途** | **阶段下达经费计划（元）** | |
| **前半阶段** | **后半阶段** |
| 预算经费总额 | 23700.00 |  | 11850.00 | 11850.00 |
| 1. 业务费 | 7300.00 |  | 3650.00 | 3650.00 |
| （1）硬件云服务费 | 1500.00 | 对硬件进行云模拟 | 750.00 | 750.00 |
| （2）软件云服务费 | 1500.00 | 对软件进行云测试 | 750.00 | 750.00 |
| （3）专家咨询费 | 1500.00 | 必要时有偿寻求技术咨询 | 750.00 | 750.00 |
| （4）会议、差旅费 | 600.00 | 五人每周组会 | 300.00 | 300.00 |
| （5）文献检索费 | 1200.00 | 为获取参考资料代码，购买相关网络开发论坛会员资格 | 600.00 | 600.00 |
| （6）论文出版费/专利申请费 | 1000.00 | 可考虑专利申请 | 500.00 | 500.00 |
| 2. 仪器设备购置费 | 2000.00 | 补充测试用信号发生器 | 1000.00 | 1000.00 |
| 3. 实验装置试制费 | 1800.00 | 实验器件加工及封装 | 900.00 | 900.00 |
| （1）计算主机外壳制造 | 600.00 | 保护脆弱的电子系统 | 300.00 | 300.00 |
| （2）计算主机散热系统施工 | 600.00 | 定点为高热元件降温以正常工作 | 300.00 | 300.00 |
| （3）计算机电源制作 | 600.00 | 为PC供能 | 300.00 | 300.00 |
| 4. 材料费 | 12600.00 | GPU芯片购买、FPGA开发板购买、各周边配套设备购买 | 6300.00 | 6300.00 |
| （1）GPU芯片购买 | 3000.00 | 以高速GPU芯片（预计型号为GTX1660S）进行并行运算 | 1500.00 | 1500.00 |
| （2）PC外设购买 | 1200.00 | 为GUI设计等人机交互提供硬件基础 | 600.00 | 600.00 |
| （3）FPGA芯片及开发板购买 | 6000.00 | FPGA芯片用于编程专业电路 | 3000.00 | 3000.00 |
| （4）FPGA配套外围设备 | 1200.00 | 为FPGA系统提供人机交互的硬件基础 | 600.00 | 600.00 |
| （5）高速中距信号射频通信缆线购买 | 900.00 | 连接计算主机与输入输出终端，传输高速模拟信号 | 450.00 | 450.00 |
| （6）高速数字数据线购买 | 300.00 | 连接计算主机与输入输出终端，传输高速数字信号 | 150.00 | 150.00 |
| 预算经费总额 | 23700.00 |  | 11850.00 | 11850.00 |

#### 四、 指导教师意见

|  |
| --- |
| **导师：\*\*\***  **年        月        日** |

#### 五、 院系推荐意见

|  |
| --- |
| **盖 章：**  **年        月        日** |