

激光质谱系统中激光波长高实时集中控制研究与应用

刘莲花, 杨文喜, 张晓卫, 但勇军, 刘彬

(核工业理化工程研究院, 天津 300180)

摘要: 随着激光共振电离质谱系统的迅速发展, 更准确地研究激光波长与电离质谱信号的关系, 实现激光波长与电离质谱信号的自动对比, 开展了激光波长高实时集中控制的研究; 采用数据库技术、多线程技术和 RS485 通讯技术等完成了激光波长的高实时控制的研究工作; 该系统实现了对激光波长的闭环和各种方式的扫描控制及运行状态的实时监测功能, 能够以外触发方式与质谱系统进行同步, 满足了激光质谱系统对波长的长范围、小范围及精细扫描的需求, 实现了波长单步扫描数据响应时间小于 250 ms。

关键词: 激光波长; 多线程; 波长扫描; 波长闭环

Research and Application of Laser Wavelength High Real Time Control in Laser Mass Spectrometry System

Liu Lianhua, Yang Wenxi, Zhang Xiaowei, Dan Yongjun, Liu Bin

(Research Institute of Physical and Chemical Engineering of Nuclear Industry 300180, China)

Abstract: With the development of laser mass spectrometry systems, it is demanded that the running state is controlled real-time and operated. The laser control system has become an urgent need for the laser system in order to study the relationship between the laser wavelength and mass spectrometry signal, automatic contrasted laser wavelength with mass spectrometry signal. The laser control system was developed with database technology, serial communications technology, Ethernet communication technology. The laser control system has completed the data acquisition and automatic control of local and remote for the running status of laser system. The laser system can synchronize with MS system by trigger outside to meet the needs of laser mass spectrometry system for a wide range of wavelengths, small-scale and fine scan.

Keywords: laser wavelength; serial communication; wavelength scanning; wavelength closed loop

0 引言

激光波长高实时集中控制研制项目来源于科技部国家重大科学仪器设备开发专项—激光共振电离质谱关键技术研究。由于激光共振电离质谱系统中, 不同范围的激光波长和某一同位素电离过程以及激光作用与电离开始的时间有着非常重要关系, 所以, 要求某一激光波长的到达时间必须在同位素的电离周期内, 因此, 需要对多种激光波长值进行快速获取, 波长的单步扫描周期应小于 250 ms, 从而实现与电离过程中电离量的多少进行实时的对比。所以, 迫切需要进行激光波长的高实时集中控制技术研究, 满足激光共振电离质谱系统的研究需求。

1 激光波长高实时集中控制的研究目标

根据电离质谱对染料波长的研究需求, 实现激光波长的长范围、小范围和精细扫描的需求, 实现与电离质谱信号的同步, 需要远程实现对激光波长的高实时采集。根据以上要求, 设计目标如下:

1) 实现对任一路多模激光波长的调节, 大范围、小范围

及精细范围的扫描, 及波长闭环的本地/远程控制; 对单模激光波长进行稳频、连接、同步、输出电压设定, 实现粗调波长的步长及调节个数的设定, 微调波长的细分数和步数的设定, 扫描波长的扫描长度和电压补偿的设定以及确定长波和短波的扫描方式。

2) 实现远程对波长的设定、标定功能, 实现波长扫描的起始、终止波长及扫描步长的设定, 能够选择触发模式, 自行设定扫描延时、是否同步反馈波长值等, 实现与电离信号的同步。

3) 对单模染料激光器实现扫频范围、波长调节、波长闭环及外触发方式的本地/远程设定功能。

4) 对单模染料激光器进行稳频、连接、同步、输出电压设定, 实现粗调波长的步长及调节个数的设定, 微调波长的细分数和步数的设定, 扫描波长的扫描长度和电压补偿的设定以及确定长波和短波的扫描方式。

5) 满足波长扫描过程中外触发方式的需求, 与质谱系统形成同步, 每扫一步波长给出反馈信号或实时波长值, 通知质谱信号测量。

6) 在扫描过程中可以实现闭环扫描和快速扫描, 满足用户的自行设定要求。

7) 激光波长数据采集周期小于 250 ms。

8) 实现对任一路激光波长的自动关断, 控制同位素电离开始的时间。

收稿日期: 2017-08-22; 修回日期: 2017-10-23。

基金项目: 国家重大仪器设备专项(2012YQ250003)。

作者简介: 刘莲花(1978-), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事激光控制、智能化科研工作方向的研究。

料激光波长的通讯协议采用两次握手的协议格式，采用 crc 校验保证数据的稳定可靠传输。指令发送分为远程端和本地端，采用主从式进行指令交互，即远程作为指令发送主命令服务器端，本地作为指令接收客户端，远程端发送任何指令，本地端都进行相应的数据或指令回复，形成指令闭环，保证数据传输的稳定性。在系统运行过程中，远程端主动发送数据请求指令，当本地端接收到指令后，首先通过 CRC 校验计算所收到指令的 CRC 校验码，与接收到的 CRC 校验码进行匹配，如果匹配成功表明接收到的指令正确，然后进行识别功能码和对应的波长路数，执行相应的请求功能或发送相应的请求数据，完成一次指令的远程控制过程。

3.2 多线程技术

电离质谱系统对激光波长的采集及控制具有非常高的实时性要求，但由于激光波长的扫描及调节装置的限制，本地对激光波长的调节装置只能采用串行通讯方式进行数据采集及控制，为了提高激光波长数据采集控制的实时性，采用多线程技术实现对多路激光波长的采集及控制。

多线程是指从软件或者硬件上实现多个线程并发执行的技术，即同时执行多个任务。多线程是为了同步完成多项任务，从而提高资源使用效率来提高系统的效率。多个线程同时运行，必须保证多个线程之间的同步，从而不竞争硬件资源，因此需要对空闲线程进行挂起、活动线程进行唤醒等^[5,15]。

系统共对四路波长值进行采集和控制，将每个波长控制装置通讯作为一个线程，四个线程并行执行，大大提高通讯实时性。

为了减少等待时间，采用线程池（TreadPool）来实现对多个波长数据的控制。线程池允许在后台运行多个工作，而不需要为每个任务频繁地创建和销毁单独的线程，从而减少了开销。线程池通过为应用程序提供一个由系统管理的辅助线程池使您可以更为有效地使用线程。

在本系统中，把对每个激光波长的监控封装成一个任务，每个任务包含数据采集、数据控制、变量显示等工作。把这些有执行需求的任务放在队列里，由系统调度向线程池申请资源。其工作原理如 3 图所示。采用线程机制将 4 个波长控制任务并行执行，解决了串口任务顺序轮询执行效率低的问题，提高了执行速度，从而提高波长的控制实时性。

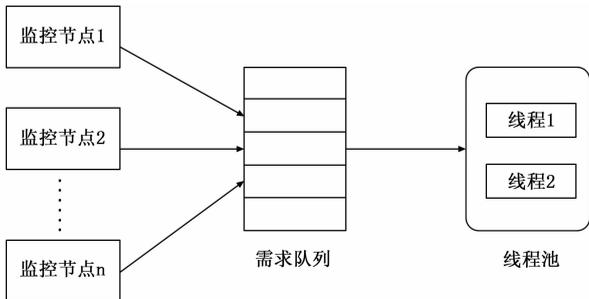


图 3 线程池工作原理图

3.3 数据库技术

数据库模型可分为平面文件数据库模型、层次数据库模

型、网状数据库模型、关系数据库模型、面向对象数据库模型、对象关系数据库模型等，关系数据库是应用数学方法来处理数据库数据，目前各类数据库中最重要、最流行的数据库，如 SQL SERVER、Access 等。本系统采用了微软的 Access 关系数据库^[9-10]。

关系数据库模型是目前效率最高的数据库模型，相对于以前的数据库模型，关系数据库模型已经在许多方面对以前的数据库进行了改进，这些改进简化了数据管理、数据检索等工作。通过利用完整性约束条件，数据更加容易管理。数据检索也得到了很大的改善，它允许用户使用可视化的工具来浏览数据库中表之间的关联结构，并且不再需要用户完全掌握数据库结构。由于关系数据库模型提供了完整性约束条件以及数据标准化等特性，因此对数据库结构的修改也变得非常容易。

数据库的定义是由蕴含着一定意义的数据，一些按照一定的规律组织起来所组成的数据集合。在数据库中除了用一些作为外部信息的数据之外，还有一些内部信息数据。数据库的基本数据结构就是二维表，每一张二维表对应着一种联系。表的每一行称为纪录；表的每一列称为属性（字段）；而域就是属性的取值范围；主码是对于这张表的唯一标识^[11-12]。

激光波长的控制主要是对所有波长数据进行管理，所以数据库是必不可少的部分。数据库应用系统的设计主要包括数据库设计和系统功能模块设计，如果数据库设计不合理，不但会造成数据冗余和不一致，而且还会引起数据的操作异常，所以数据库中数据结构设计的好坏直接影响数据库管理系统的执行效率^[13-14]。

本系统采用关系数据库对所有的激光波长相关数据进行管理，数据结构采用二维表进行设计，每张二维表对应着一种联系，包括对象和属性。通过对系统的需求分析，其数据结构定义如表 2 所示。

系统设置了 6 个二维表，λ1 波长数据表、λ2 波长数据表、λ3 波长数据表、λ4 波长数据表、系统故障表和用户信息表，通过关联四个波长数据表进行历史波长数据的查询和对比分析，形成一张波长数据表进行展示与输出，通过系统故障表进行系统故障的查询与分析，查找出现异常时相关设备数据的对应关系，通过用户信息表进行查询实验人员的登录信息、操作信息及相关人员信息等，为系统分析提供了数据支持。

4 研制结果及验证

激光波长高实时控制系统包含了波长计、光开关、波长测量装置及波长扫描装置等，波长计实现对激光波长的测量、光开关实现选择测量哪路激光，波长扫描装置在每路激光的出光范围内对激光波长进行扫描控制。本系统对多台多模染料激光链的波长控制进行了测试，验证了激光波长的大范围、小范围及精细扫描。以小范围扫描为例，将选择使用波长计，远程、外触发、反馈、精细扫描和显示实时波长值，将波长值设定到扫描的起始波长值，扫描波长过程中将看到当扫一步波长后给出反馈信号及实时波长值，当扫描结束时给出扫描完成提示，扫描过程中可以进行暂停、继续或结束扫描，扫描过程中给出

表 2 λ1 波长数据表

日期	λ1 基准值	λ1 实时值	起始波长	终止波长	步长	扫描延时	同步
20150123	530.4567	530.4537	530.4537	530.4557	10	2	1

连接设备故障或波长计故障等故障信息。通过多次验证, 每链染料激光的波长调节及扫描都满足了同位素电离的要求。

根据激光波长采集数据相应时间在 250 ms 以内, 对激光波长的采集数据相应时间进行了考核, 经过十几小时的试验测试及考核, 数据相应时间基本都在要求的范围内, 部分数据如图 4 所示, 数据相应时间在 250 ms 以内, 并且相当稳定, 通讯网络及现场设备没有出现通讯错误, 验证了激光波长高实时控制的稳定性及实时性要求。

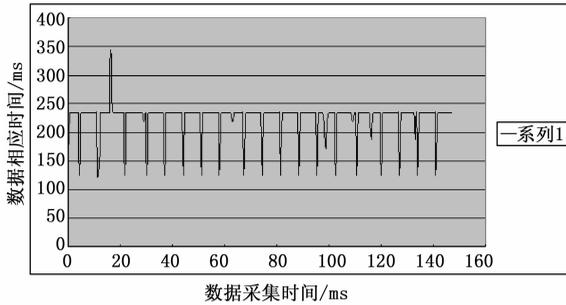


图 4 激光波长采集实时性分析图

5 结论

通过长时间考核, 证明了此控制系统可以满足对激光波长的范围、小范围及精细扫描的要求, 能够以外触发方式与同位素电离达到同步, 满足激光波长扫描的高实时性要求

经过以上分析得出如下结论:

- 1) 成功研制了激光波长高实时控制系统, 能够实现对波长的多种方式的扫描, 实现与同位素电离过程的同步。
- 2) 采用了多线程技术实现了对激光波长的实时控制。
- 3) 实现了单步波长扫描周期小于 250 ms 的实时性要求。

(上接第 157 页)

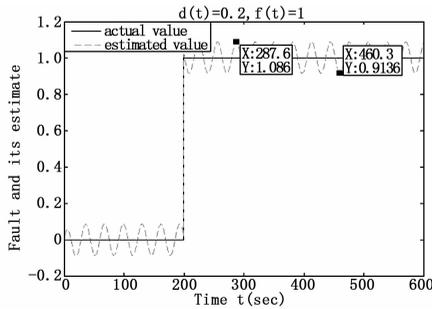


图 9 实际故障和估计故障 ($p(t) = 0.5$)

4 总结

本文在有限频域内针对线性变参数多智能体系统设计了鲁棒 H_∞ 故障估计观测器。首先, 根据每个智能体的绝对可测输出和相对可测输出建立了单个智能体的动力学方程, 结合通讯拓扑图及拉普拉斯矩阵得到了多智能体系统的动力学方程, 由合适的变换对多智能体系统模型进行解耦; 然后由解耦后的系统动力学方程及 GKYP 和投影引理得到了故障估计观测器的充要条件, 并且给出了证明过程, 通过 LMI 优化技术得到了故障估计观测器增益矩阵和鲁棒性能指标; 最后, 仿真例子验证了所设计的故障估计观测器的有效性。

参考文献:

- [1] 彭杰, 刘力. 工业控制系统信息安全性分析 [J]. 自动化仪表, 2012 (12): 54-59.
- [2] 彭翰生, 张小民, 范滇元. 高功率固体激光装置的发展与工程科学问题 [J]. 中国工程科学, 2001 (3): 33-37.
- [3] 董卫斌. 强激光光束控制与参数诊断相关技术研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2008 (4): 26-31.
- [4] 吴智龙, 李伟彤. 基于事件驱动方式的高速串口通信方案的设计 [J]. 工业控制计算机, 2014 (5): 46-49.
- [5] 张艳霞, 胡双炎. 多串口多线程交通信号灯数据采集软件系统设计 [J]. 吉首大学学报 (自然科学版), 2011 (4): 50-55.
- [6] 姚荣, 吴宁, 任亮. 基于 Windows CE 的嵌入式 GIS 设计与应用 [J]. 电子测量技术, 2008 (7): 52-57.
- [7] 刘域. 基于 Windows CE 的嵌入式供暖热量管理系统 [J]. 吉林大学学报 (信息科学版), 2007 (6): 56-60.
- [8] 李满, 田一. 嵌入式系统的远程控制研究 [J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2005 (1): 73-76.
- [9] 李涛, 孙方, 孙翱. Windows CE 流接口驱动程序设计方法 [J]. 舰船电子工程, 2006 (6): 65-69.
- [10] 刘辉, 张艳, 王潜平. 基于 ARM 的串口/以太网协议转换器设计 [J]. 微计算机信息, 2008 (35): 45-48.
- [11] 王海勇. 基于 ARM9 的嵌入式多串口服务器设计 [J]. 化工自动化及仪表, 2013 (3): 17-21.
- [12] 湛文涛, 王乐, 孙靖国. 一种多串口和以太网转换方法的研究 [J]. 航空计算技术, 2011 (4): 88-92.
- [13] 陈媛, 王再英, 彭倩. 基于嵌入式多串口数据传输系统的设计与实现 [J]. 科学技术与工程, 2013 (1): 34-38.
- [14] 安娜赛德拉, 斯塔夫. 无线延时防火墙路由: 无线延迟网络的地理路由协议 [J]. 无线通信与网络杂志, 2013, 2013 (1): 45-62.
- [15] 陈淑贞, 石波. 基于多线程技术的串行通信 [J]. 武汉大学学报自然科学版, 2000, 5 (3): 325-328.

参考文献:

- [1] 陈荣亚, 陈小平. 多智能体分层协作规划及在 RoboCup 中的应用 [J]. 计算机系统应用, 2016, 25 (1): 17-23.
- [2] 宗令蓓, 谢凡, 秦世引. 基于 MAS 的无人机编队飞行智能优化控制 [J]. 航空学报, 2008, 29.
- [3] 车畅, 梁韦华, 周悦, 等. 基于多智能体的无线传感器网络协同问题研究 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26 (2): 229-232.
- [4] 陈刚, 林青. 基于观测器的多智能体系统一致性控制与故障检测 [J]. 控制理论与应用, 2014, 31 (5): 1326-1333.
- [5] Edwards C. Robust decentralized actuator fault detection and estimation for large scale systems using a sliding mode observer [J]. International Journal of Control, 2008, 81 (4): 591-606.
- [6] 王巍, 王丹, 彭周华. 不确定非线性多智能体系统的分布式容错协同控制 [J]. 控制与决策, 2015 (7): 1303-1308.
- [7] Menon P P, Edwards C. Robust Fault Estimation Using Relative Information in Linear Multi-Agent Networks [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2014, 59 (2): 477-482.
- [8] Jiang B, Peng S, Mao Z. Sliding mode observer-based faults estimation for Nonlinear networked control systems [J]. Circuits Systems and Signal Processing, 2011, 30 (1): 1-16.
- [9] Wu H, Sun D, Zhou Z. Model identification of a micro air vehicle in loitering flight based on attitude performance evaluation [J]. Robotics IEEE Transactions on, 2004, 20 (4): 702-712.