

# 基于 ATmega128 的化学发光检测系统

## The chemiluminescence measure system based on ATmega128

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院) 朱继伟<sup>1,2</sup> 唐玉国<sup>1</sup>  
ZHU Ji-wei TANG Yu-guo

**摘要:** 针对化学发光的基本原理和检测方法,提出了一种以 ATmega128 为控制核心、采用以 R6095P 型光电倍增管作为感光器件的光子计数器对发光强度进行检测、可存储相关检测数据的设计方案,并给出了系统的硬件组成以及软件设计流程。实验结果表明:系统具有快速、可靠、可操作性强的特点,可广泛应用于生物医学、临床检验等领域。

**关键词:** ATmega128; 光电倍增管; 化学发光

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** B

**Abstract:** In view of the basic principle and method of the chemiluminescence, proposes a design method of such system that centers around ATmega128, adopts photo counter e which uses R6095P PMT as the sensitization device to measure light intensity and stores the data. At the same time, it describes the constitution of the hardware system and software design flow design. The experimental results show that the system has the features of speediness, reliability, better maneuverability. This system has a wide use in biology and medicine field.

**Key words:** ATmega128; PMT; Chemiluminescence

### 1 前言

化学发光是指吸收了化学反应能量的分子由激发态回到基态时所产生的光辐射现象。目前,应用最为广泛的化学发光体系主要有鲁米诺、过氧化草酸酯、钨配合物及高锰酸钾等,其检测的对象包括金属离子、氨基酸及其衍生物、蛋白质、糖类化合物和药物等多种物质。鲁米诺体系由于水溶性好、灵敏度高,至今仍是研究最多、应用最广的化学发光体系。其发光机理是在碱性溶液中,鲁米诺被氧化产生化学发光,根据发光信号强度来确定组分的含量。

应用于本系统的鲁米诺体系发光具体过程是:在经过预处理的样品中泵入 200 $\mu$ l 的 NaOH 溶液,2.5s 后泵入 200 $\mu$ l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液,0.1s 后检测样品的发光强度,3s 后测试的结果为样品的发光强度。将结果带入系统内存储的拟合公式后,即可计算出样品中待测物质的浓度。分析结果、数据曲线可以根据需要进行显示、保存、打印等处理。

### 2 系统的硬件设计

针对上述鲁米诺体系的发光反应过程的动作特点,要求检测系统需要协调多个部件在规定的時間点上完成动作,准确的检测样品的发光强度,并可以随时存储或提取分析结果所需要的数据。系统构成如图 1 所示:

#### 2.1 主控系统

主控系统由 ATmega128 构成,主要完成数据的计算存储处理、键盘识别和显示、启动试剂泵控制、打印输出结果、与上位机通讯等功能。ATmega128 单片机是 ATMEL 公司出品的增强

型精简指令集(RISC 内核)低功耗高速 8 位控制器,最高工作频率可达 16MHz;由于内核设计采用哈佛结构,程序存储器和数据存储器分开,具有可对相同地址的程序存储器和数据存储器进行独立寻址的功能。ATmega128 的内核将所有的工作寄存器都与 ALU 单元直接连接,实现了一个时钟周期内执行一条指令并同时可以访问两个独立寄存器的操作,运行速度可以接近 1MIPS/MHZ,可以极大的提高系统的运行速度和对数据的处理能力。ATmega128 具有良好的集成性能,具备在线编程调试的 JTAG 接口,片内看门狗电路,片内 128KB 的 flash 程序存储器和 4KB 的 SRAM,同步串行接口 SPI,53 个通用 I/O 口,2 个 8 位定时/计数器,2 个 16 位定时/计数器等功能。

为实现存储样品的基本信息、测量结果、测试项目的标准曲线信息及数据拟合公式等重要数据信息的存储功能,系统外扩 8MB 的高速 flash 存储器 AT45DB642D 作为数据存储器。AT45DB642D 具有丰富的指令,读写频率最高可达到 66MHz,可以并行执行不同组类的命令,支持字节模式、页模式和块模式的读写擦除操作。硬件设计过程中,ATmega128 可利用 SPI 接口直接与 AT45DB642 连接,硬件连接和程序编写简单。

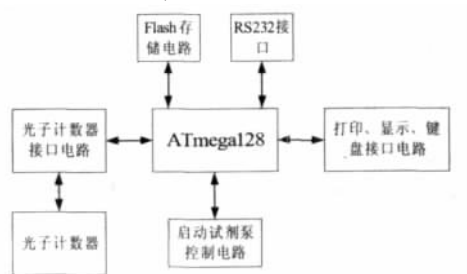


图 1 系统原理图

#### 2.2 化学发光检测系统

化学发光实质上是特定的化学反应产生的激发态中间体后再回到稳定的基态一个过程,在这个过程中释放的能量以光

朱继伟:在读博士生

基金项目:吉林省科技厅科技发展计划项目;项目名称:平面光栅光谱仪和小型自动化学发光免疫分析仪的研制(20070327)

子的形式表现出来。所以,根据化学发光反应能量释放的形式,决定了对其发光强度的检测应采用单光子计数器。

光电倍增管(PhotoMultiplier Tube,PMT)是单光子计数器的核心部件,PMT 是一种基于外光电效应的真空光电探测器件。当入射光子撞击光阴极时,光阴极将光子转变为光电子,通过后续的打拿级对光子进行多次倍增,最后达到阳极,并在 PMT 的阳极负载上形成一个脉冲信号,将该脉冲信号经前置放大器放大后得到系统可以处理的脉冲信号。形成的脉冲信号可以进入 A/D 转换器,由单片机系统读取转换结果,并通过一定的数字信号处理算法(如快速傅里叶变换等)去除信号噪声后得到计数结果,或者将信号直接输入幅度甄别器,即通过硬件去噪方式将无用的噪声脉冲去掉,得到的脉冲信号经分频器分频后,直接由单片机系统进行计数得到最后的结果。由于前一种方式不仅需要选择快速高精度的 A/D 转换器,而且要求所选用的单片机具有很强的数据处理能力以实现信号处理算法。因此从实际应用角度出发,系统设计过程中采用幅度甄别器来处理放大器输出的脉冲信号。系统采用的光子计数器原理框如图 2 所示。

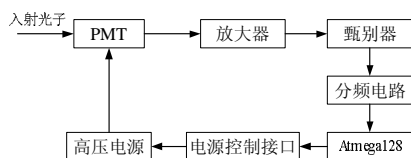


图 2 系统采用的光子计数器原理图

由于所设计开发的系统属于便携式检测设备,所以对 PMT 的体积有一定要求,而且鲁米诺化学发光体系其发射光子的波长为 420nm。综合多方面考虑,系统采用日本滨松公司的 R6095P 型光电倍增管。R6095P 的光谱响应曲线如图 3 所示。

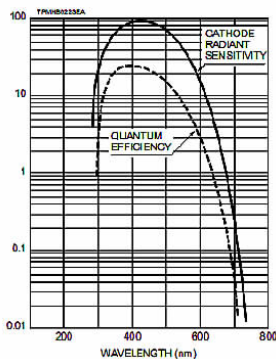


图 3 光谱响应曲线

在实际工作过程中,当系统检测到有样品放入测量室并扫描到开始测量的键值,系统向样品中注入启动试剂后,样品开始发光。发射的光子经 R6095P 后,输出的电流信号经 OPA6443U 构成的积分型放大器放大滤波后输入到由 NE521D 构成的幅度甄别器对脉冲信号进行区分,得到的脉冲序列通过由 74HC74D 构成的分频器后,由 Atmega128 计数。最终计数结果经过数据处理后既得到待测样品的发光强度,将所得到的发光强度带入已知的数据拟合公式就可以计算出样品中待测物质的浓度。

### 2.3 高压电源控制接口电路

在实际应用过程中发现不同 PMT 在加相同的高压情况下,测量相同量的标准发光液其计数结果不相同。这种情况的出现,会造成不同系统间检测标准品发光强度时出现检测结果出现波动,这种波动的存在直接影响各项目标准曲线的拟合精度,进

而影响系统检测结果的准确度。

针对这种情况需设计出 PMT 高压控制电路,以保证标准品和样品的测量结果在合理的范围内波动。接口电路主要实现 PMT 高压的控制以及通过高压电源的反馈电阻检测系统在 PMT 上所加的高压值。

针对所采用的 PMT,系统所设计高压电源与控制端电压和反馈电压值的关系为:

$$U_c = U_o \times 0.002$$

$U_c$ : 高压控制端电压;

$U_o$ : 输出高压值;

接口控制电路原理是通过 D/A 芯片 TLC5615 输出高压控制信号。为了提高控制信号以及高压反馈信号的驱动能力保证电路可靠工作,利用 LM358 双运放芯片构成两路电压跟随器以提高控制信号和反馈信号的驱动能力。系统直接利用 ATmega128 的 A/D 转换接口(PF0)来读取电压跟随器输出高压反馈信号的电压值,以达到监测 PMT 高压值的目的。

## 3 软件设计的实现

系统软件设计是在 ICC 编译环境下,采用 C 语言完成的。系统软件主要分为主程序模块、计数及结果处理模块和结果输出序模块等部分。系统主程序模块完成的主要完成初始化操作、键盘键值扫描、状态判断等操作。结果输出模块主要完成数据的显示、打印及数据输出等功能。系统软件流程图如图 5 所示。

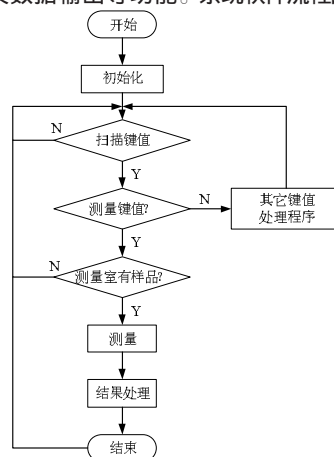


图 5 程序流程图

## 4 结束语

本文介绍了一种以 ATmega128 为核心,采用单光子技术进行化学发光检测的系统。目前,系统已经完成设计工作,正在进行临床试验。实验结果表明系统具有结构简单可靠、操作方便、检验结果准确等优点。本文作者创新点是利用高性价比的 ATmega128 芯片结合单光子计数技术实现了快速准确的化学发光检测,理论速度可以达到 600 个测试/小时。化学发光分析方法具有广阔的应用前景,但由于目前国内应用的多为进口化学发光检测设备,这在一定程度上限制了该技术在国内的普及。若系统的可以尽快进入国内市场,可以使化学发光分析方法在我国更广泛的地域内得到应用并提高相关领域的检测水平,并且每年可创造 200 万元左右的经济效益。

参考文献

[1] 陈东云,杜敬仓,任柯燕等. ATmega128 单片机原理与开发指导. 北京:机械工业出版社,2005.10

(下转第 32 页)

商 Agent 和回收中心 Agent 是组织中的子组织结构。各各子组织结构内部包含的 Agent, 这些 Agent 在该组织种扮演着不同的角色。其对应子组织结构的规则库中都规定了该组织对角色关系和角色行为的约束, 这样可以使 Agent 组织在形成和求解过程中减少冲突, 使组织行为更加协调和有效。其中个子 Agent 应该完成的任务在上述描述中已作了详细说明, 根据其完成的任务内容就可知道它在组织中所应扮演的角色。这一系统的形成是通过对各 Agent 之间依赖关系的社会推理, 发现与其目标又依赖关系的其他 Agent, 并与之形成不同形式的合作。一个 Agent 提供其他 Agent 需要的服务同时也需要其他 Agent 为自己提供服务, 这就是 Agent 之间的社会依赖。如制造商 Agent 要随着设计商设计理念的变化即时动态更新自己的库存计划以更好地满足新产品的制造; 同时, 制造商 Agent 也需要根据自己在制造过程中积累的经验向设计上 Agent 提出相关意见, 以完成更好的产品设计。

### 3.3 逆向物流链库存模型 Agent 之间的通信和协作模式

Agent 通过信息交流、协调和相互协作等手段实现自身的目标或达成某种一致性, 从而解决逆向物流库存系统中的复杂问题。所有的 Agent 内部都有一个通讯端口, 用于与其它 Agent 进行消息的传递和交换。Agent 之间消息的传递需要通过通信语言表达, 上述模型中各个 Agent 之间的通信都是用消息机制来实现的。本文采用九元制消息代码, 形如:

Message:: = <MsgID, Dest, Source, MsgType, Content, SendTime, ElapseTime, ValidTime>

其中, MsgID 为消息标识, 用来唯一标识一条消息; Dest 和 Source 分别为消息的接收 Agent 和发送 Agent; MsgType 为消息的类型; Content 为消息的内容; SendTime 为消息的发送时钟; ElapseTime 为消息传送需要的时间间隔; ValidTime 消息的有效期。本模型中主要存在的消息类型有: 指令传达消息、指令接收消息和反馈消息。

本文的 MA 模型中采用合同网(Contract Net)的协作机制, 合同网是最著名且应用最广泛的一种合作方法, 是由 Smith 最先提出。在合同网方法中, 所有的 Agent 分为两种角色: 管理者(Manager)和工作者(Worker)。其中, 管理者的职责包括: 对每一待求解任务建立任务通知书, 将任务通知书发送给有关的工作者 Agent; 接收并评估来自工作者的投标; 从投标中选择最适合的工作者, 与之建立合同; 监督任务的完成, 并综合结果。工作者的职责包括: 接收相关任务通知书; 评价自己的资格; 对感兴趣的子任务投标; 如果合同接受, 按合同执行分配给自己的子任务; 向管理者报告请求结果。

## 4 结论

由于逆向物流库存的复杂性, 传统的库存管理方法已经无法满足其需要, 人工智能的发展为此提供了新的研究思路。应用 Multi-Agent 技术进行复杂系统的建模, 能够很好地实现系统中各类实体的动态结构关系。本文创新点: 首先通过对逆向物流供应链库存管理的分析给出了各节点组织在该逆向物流供应链上的任务描述, 从而建立了基于 Multi-Agent 的逆向物流库存模型。但是, 关于各个 Agent 在组织中的收益判断文中并未涉及, 希望在今后的学习能有更深入的研究。

### 参考文献

[1] Bordini, R.H., Bazzan, A.L.C., et.al. AgentSpeak(XI): Efficient In-

tention Selection in BDI Agents via Decision - Theoretic Task Scheduling. In: Proceeding of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, July, 2002.

[2] Balch T. and Parker L.E. Special Issue on Heterogenous Multi-Robot Systems, Guest Editorial, Autonomous Robotics, 8 (3), 2000, 207-208.

[3] 赵道致, 詹燕, 霍艳芳. 基于累积批量处理的逆向物流最优库存控制研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007(4): 67-71.

[4] 贾红雨等. 库存管理模拟 Multi-Agent 建模方法研究[J]. 系统仿真学报, 2006(8): 73-76.

[5] 袁成祥. 基于 Agent 的供应链管理研究[D]. 浙江: 浙江大学博士学位论文, 2004, 35-55.

[6] 李长洪. 多 Agent 合作机制与结构研究[D]. 天津: 天津大学博士学位论文, 22-24.

[7] 李娟, 黄培清, 顾锋. 供应链上相关信息的共享激励及共享价值分配[J]. 系统管理学报, 2008(2): 78-82.

[8] 孙红, 高锦焱. 基于 Agent 的供应链时间管理[J]. 微计算机信息, 2008, 2-3: 246-248.

作者简介: 倪明(1974-), 男(汉族), 安徽桐城人, 华东交通大学 经济管理学院 副教授/博士/硕导, 研究方向, 系统工程; 陶琴(1984-), 女(汉族), 安徽当涂人, 华东交通大学 经济管理学院 硕士研究生, 研究方向, 逆向物流系统工程。

**Biography:** NI Ming (1974-), Male (Han), Anhui Province, East China of Jiao Tong University, Associate Professor, Major in System Engineering.

(330013 南昌 华东交通大学经济管理学院) 倪 明 陶 琴

(College of Economics and Management, East China of Jiao Tong University, nanchang, 330013, China) NI Ming TAO Qin

通讯地址: (330013 南昌 华东交通大学经济管理学院) 倪 明  
(收稿日期: 2009.01.03)(修稿日期: 2009.04.03)

### (上接第13页)

[2] 沈文, Eagle Lee, 詹卫前. AVR 单片机 C 语言开发入门指导. 北京: 清华大学出版社, 2003.5

[3] 王红玲, 胡细东, 陈威, 唐兵. 光子计数式 PMT 在荧光监测系统中的应用. 微计算机信息, 2005, 21-2: 144-145

[4] 陈成杰, 徐正卜. 光电倍增管. 北京: 原子能出版社, 1998.8

作者简介: 朱继伟(1980-), 男(汉族), 吉林省长春市人, 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所在读博士生, 主要研究方向为嵌入式系统及光谱技术的应用。

**Biography:** ZHU Ji-wei (1980-), male (the Han nationality), borned in Changchun City of the Jilin Province, the Ph.D candidate of the Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, engaged in application of embedded system and spectral technology.

(130033 长春市 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 朱继伟 唐玉国

(100039 北京市 中国科学院研究生院) 朱继伟

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China) ZHU Ji-wei TANG Yu-guo

(Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing, 100039, China) ZHU Ji-wei

通讯地址: (130033 长春市东南湖大路 16 号中国科学院长春光学精密机械与物理研究所光栅技术研究室) 朱继伟

(收稿日期: 2008.12.29)(修稿日期: 2009.03.29)