

Low-Power Optical Power Detection Tag Design Based on LORA™ Modulation

WANG Lei, ZHU Ke*, WANG Jun

(Information Construction and Management Center, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu 215009, China)

Abstract: In the industrial production field, aiming at the inconvenience of detecting optical power by wired equipment, from an application point of view, a low-power optical power detection tag based on LORA™ modulation is designed. The wireless low-power optical power detection tag is composed of light sensor, low-power processor, LORA™ modem, and lithium battery. The light sensor converts the light into a variable electric current. Pulse is produced by charge and discharge capacitor and single retriggerable monostable multivibrator. The low-power processor detects the number of pulses in fixed time, and sends the data to the PAD for data display through the LORA™ modem. The experiment proves that the designed system is stable, the detection precision is high, and the standby current is as low as 0.2 mA.

Key words: LORA™; low-power; high precision; optical power detection

EEACC: 7210 doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2022.06.032

基于 LORA™ 调制的低功耗光功率检测标签设计

王磊, 朱可*, 王军

(苏州科技大学信息化建设与管理中心, 江苏 苏州 215009)

摘要: 针对工业生产领域有线设备检测光功率的不便, 从应用角度出发, 提出一种基于 LORA™ 调制的低功耗光功率检测标签设计。无线低功耗光功率检测标签由光传感器、低功耗处理器、LORA™ 调制解调器和锂电池组成, 光传感器将光强转换为大小变化的电流, 通过对电容充放电和单稳态触发器, 产生频率变化的脉冲信号, 低功耗处理器在固定时长窗口下检测脉冲个数从而获得光功率, 并通过 LORA™ 调制将数据发送至手持 PAD 进行数据展示。实验证明: 本设计系统稳定, 检测精度高, 待机电流低至 0.2 mA。

关键词: LORA™; 低功耗; 高精度; 光功率检测

中图分类号: TP23

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2022)06-1459-04

目前在产品流水线检测固化光强的方式还是停留在暂停流水线, 用光照计逐个检测每个光源光强的模式。这种方式存在检测效率低下, 干扰流水线生产等诸多不足; 同时由于流水线对检测设备尺寸大小有极高要求, 无法内置大体积大容量电池。针对这种问题, 提出一种无线的低功耗光功率检测标签, 可随着产品在流水线上实时监测每个固化光源的光强。

1 光功率检测整体设计

光功率检测标签主要由 4 部分组成: 光强转换电路, 低功耗处理器, LORA™ 调制解调器模块和锂电池充放电电路, 如图 1 所示。

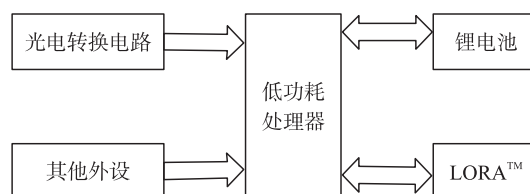


图 1 光功率检测标签整体设计

当无光照在光功率检测标签时, 标签进入低功耗待机状态, 低功耗处理器关闭外设, 只留下唤醒电路, LORA™ 调制解调器进入睡眠模式。当光照射标签时, 光电传感器首先将光转化为电流, 并对电容充电, 当充至某个电压值时, 启动单稳态触发器输出一个脉冲信号控制电容放电^[1], 并输入到低功耗处理器中,

低功耗处理器通过内部定时器,在一定窗口时间内检测脉冲数,即可检测到光功率^[2]。并通过 LORA™ 调制解调器模块将数据发送至 PAD 端,数据发送完毕使其进入休眠模式,等待下次发送数据指令。

2 光功率检测硬件设计

2.1 低功耗处理器

低功耗处理器采用 STM32L 系列,是一种 Cortex-M0+32 位 RISC 内核处理器,具有 64 KB Flash 存储器、32 MHz CPU、增强型 I/O、12 位 ADC、LPTIM、一个 RTC 和一个可用作时基的 SysTick。STM32L 器件还具有多个高级通信接口,可在具有 BOR 的 1.8 V 至 3.6 V 电源(断电时低至 1.65 V)和不带 BOR 选项的 1.65 V 至 3.6 V 电源下运行,具有一套全面的节能模式允许设计低功耗应用^[3-4]。STM32L 有 7 种低功耗模式,并且具有快速唤醒功能,能够满足不同的功能需求^[5-6]。

2.2 光功率检测

PD1 为光电二极管,当有光照射时产生电流,对 C_1 电容充电,光功率检测电路如图 2 所示;由表 1 单稳态触发器真值表可知,当 A 端输入低电平,CLR 端输入高电平,当 C_1 电容充电至输入 B 端电压变成高电平时,单稳态触发器 Q 端输出一个脉宽为 t_w 的脉冲, t_w 值由 R_2 、 C_2 决定,时序图如图 3 所示。输出的脉冲信号导通 Q1 NMOS 管,电容 C_1 开始放电,直至单稳态触发器输出的脉冲信号变成低电平。

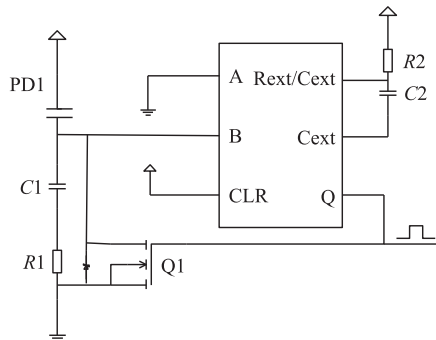


图 2 光功率检测电路

表 1 单稳态触发器真值表

输入端			输出端
CLR	A	B	Q
L	X	X	L
X	H	X	L
X	X	L	L
H	L	↑	
H	↓	L	
↑	L	L	

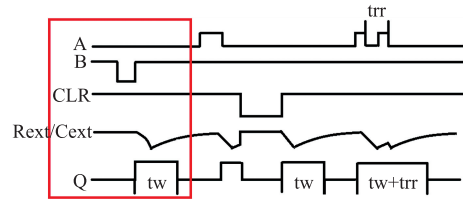


图 3 单稳态触发器时序图

2.3 LORA™ 调制解调器

LORA™ 调制解调器基于 SX1278 芯片,借助 LORA™ 调制技术^[7-10],可获得超过 -148 dBm 的灵敏度。低功耗处理器通过 SPI 接口对 SX1278 寄存器进行读写,通过 RST 复位引脚可编程复位 SX1278,并且通过 SX1278 的 DIO0 引脚对外输出一个中断,低功耗处理器检测到中断对传输的数据进行处理,LORA 连接示意图如图 4。

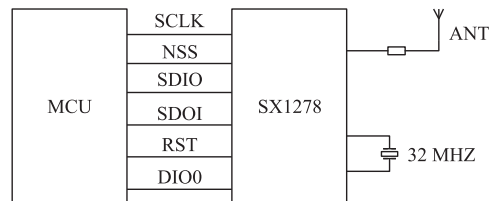


图 4 LORA 与 MCU 连接示意图

3 光功率检测软件设计

3.1 光功率检测

由光功率检测电路将强度变化的光照转换为频率变化的脉冲,所以只需记录固定时间的脉冲数即可转换为光强。首先,初始化低功耗定时器 LPTIM 作为脉冲计数器,其时钟输入源设置为外部时钟源输入,当检测到一个脉冲,时钟计数器加 1;然后初始化 RTC 时钟,由于在 STM32L 系统低功耗处理器下,在低功耗模式下,只有 RTC 时钟可正常运行。LPTIM 时钟计数器清 0,RTC 时钟开始计时,当到达固定时间窗口,记录下 LPTIM 时钟计数器,清除 RTC 时钟并重新开始计时,流程图如图 5。

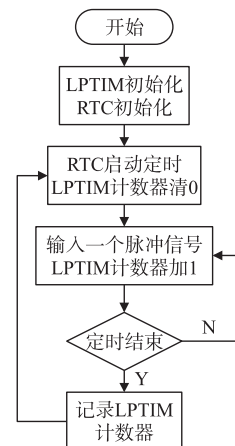


图 5 光功率检测流程图

3.2 LORA™数据发送

LORA™调制解调器采用扩频调制和前向纠错技术,调整扩频因子和纠错率变量以增加链路预算和信号抗干扰能力^[11-12]。初始化 SPI 外设,超时定时器,复位 SX1278,并设置 SX1278 为 LORA 调制模式,初始化成功后 SX1278 进入 RF_IDLE 空闲模式。设置 SX1278 工作在 433 MHz 频率,带宽 125 kHz,扩频因子为 7,4/5 编码率,当接收到数据发送指令,SX1278 从空闲模式进入发射模式,STM32L 通过 SPI 向 SX1278 FIFO 写入需要发送的数据,配置发送成功中断标志,启动超时定时器,进入发送进行模式等待超时中断标志或发送成功中断标志,SX1278 停止发送,再次进入空闲模式并睡眠,等待下次发送唤醒,流程图如图 6 所示。

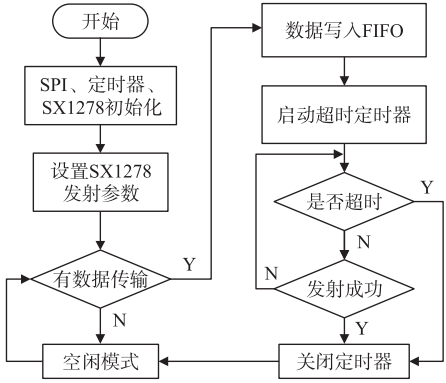


图 6 LORA™数据发送流程图

3.3 低功耗

STM32L 具有 7 种低功耗模式,即低功耗运行模式,低功耗睡眠模式,停机模式(寄存器调压打开或关闭),待机模式(寄存器调压打开或关闭),为确保光功率脉冲检测,RTC 和 LPTIM 两个定时器需正常工作,根据芯片手册和低功耗只得选用低功耗睡眠模式运行,当在一定时间内无光照,标签进入寄存器调压关闭的停机模式,此时系统电流降到最低。当有光照时,光功率检测电路输出脉冲信号至 WAKE-UP 引脚,唤醒系统并进入低功耗睡眠模式检测光强,流程图如图 7 所示。

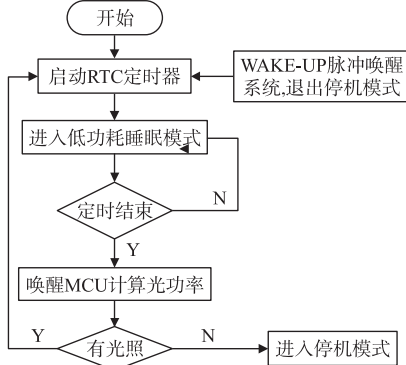


图 7 低功耗设计流程图

4 实验与分析

用固定波长的光源在固定高度、固定强度下照射标签的入光口,由图 2 可知, R_1 、 C_1 和单稳态触发器形成充放电电路,如图 8 所示,其中横坐标为时间,纵坐标为电压值,框 A 表示了电容 C_1 两端的电压随时间的变化,框 B 表示单稳态触发器 Q 输出的脉冲信号。通过改变光源的强度,从而影响 C_1 充电速度,进而改变单稳态触发器 Q 输出的脉冲信号频率。

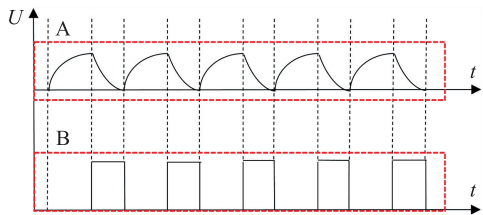


图 8 C_1 电压与单稳态触发器 Q 信号变化时序图

通过电流检测仪分别测量了 SX1278 在待机状态、发送状态下和休眠状态下,同时 STM32L 工作在不同模式时,电子标签的电流值,如表 2 所示。

表 2 标签工作电流 单位: mA

STM32L 工作状态	SX1278 工作状态		
	待机	发送状态	休眠
正常运行	34.6	103.5	8.7
睡眠模式	29.1	97.9	3.4
停止模式	25.8	94.3	0.2

对比得知,在 SX1278 同一状态下,STM32L 工作在停止模式电流最低,此模式下,STM32L 所有定时器、外设停止工作,电流低至微安级。而 SX1278 工作在发射模式下,此时功耗最高;工作在休眠模式下功耗最低。由表可知 STM32L 工作在停止模式, SX1278 工作在休眠模式,设备功耗最低,电流低至 0.2 mA。在应用中标签在无光照情况下,STM32L 进入停止模式, SX1278 进入休眠模式,当有光照情况下,设备唤醒,采集光功率,每秒通过 SX1278 向 PAD 端发送一次数据,当无光照时再次进入休眠模式等待唤醒。此工作模式能有效降低标签功耗。

由于对标签大小有极高要求,标签内置电池体积需要较小,本标签采用 3.7 V 300 MAh 电池,休眠下设备可以持续 6 000 h。

5 总结

通过 STM32L 定时采集单稳态触发器输出的脉冲信号, SX1278 采用 LORA™调制将采集到的数据发送至 PAD 端进行数据展示。在无光照情况下,

STM32L 自动进入停止模式, SX1278 进入休眠模式, 极大地降低设备工作电流, 延长使用时间, 为狭小工业产线测量光功率提出一种新方案。

参考文献:

- [1] 吕曙东, 孙宏国. 电工电子实验技术[M]. 第4版. 南京: 东南大学出版社, 2018: 30-31.
- [2] 张晖. 基于嵌入式的芯片式细胞电融合装置的硬件设计[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
- [3] 许鹏程, 李志斌, 吴文峰, 等. 基于 Cortex-M4 和 LoRa 的室内人员疲劳监测系统实现[J]. 电子器件, 2018, 41(2): 521-524.
- [4] 严莉, 龚国强. 基于 STM32L 的 GPRS+GSM+蓝牙实时上传系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20(10): 56-59.
- [5] 王鹏程, 朱长青. 基于 STM32 的低功耗无线电池监测系统设计[J]. 电测与仪表, 2020, 57(6): 114-119.
- [6] 邹圣雷. 基于 STM32 的半主动式电子标签低功耗性能评估系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2019(4): 172-175, 179.
- [7] 王阳, 温向明, 路兆铭, 等. 新兴物联网技术——LoRa[J]. 信息技术, 2017, 11(1): 55-59, 72.
- [8] 陈伦斌. 无线 LoRa 在输电线路监测中的组网设计与实现[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- [9] 张新. 基于 LoRa 技术的煤矿作业环境实时监测系统[J]. 自动化仪表, 2019, 40(3): 69-73.
- [10] 邱曙光, 庞成鑫, 贾佳. 基于 LoRa 技术的河道水质在线监测节点设计[J]. 电子器件, 2020, 43(3): 691-697.
- [11] 韩文征, 姚晓东, 黄煊赫. 基于 LoRa 的光伏电站监控系统[J]. 仪表技术与传感器, 2020(6): 59-62.
- [12] 张琴, 戴阳, 杨胜龙, 等. 基于 LoRa 的低功耗水产养殖水质监测系统[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(11): 96-99.



王 磊(1991—), 男, 汉族, 江苏苏州人, 苏州科技大学工程师, 主要研究方向: 嵌入式智能化, demowl@163.com;



朱 可(1973—), 男, 汉族, 江苏苏州人, 苏州科技大学高级工程师, 主要研究方向: 仪器与仪表自动化, koker@163.com。