

# 新型低能辐射远程测量系统设计

张松玲<sup>1</sup> 程倩倩<sup>2</sup> 郭德斐<sup>1</sup> 马春旺<sup>2</sup> 王芳<sup>1</sup>

(1. 河南师范大学电子与电气工程学院 河南 新乡 453007;  
2. 河南师范大学物理与材料科学学院 河南 新乡 453007)

**摘要:** 为了实现低能辐射精确的远程测量,设计了一种基于 ARM 单片机和 ZigBee 无线传输的新型低能辐射远程测量系统,优化了前端算法,提出了精度更高的整体求和算法。系统可靠性利用 ARM 单片机发射数据与 ZigBee 接收数据的一致程度来测试,算法精确度利用 MATLAB 进行图像处理,再计算辐射亮点灰度值,并用插值拟合方法进行数据处理来测试。实验结果表明,整体求和算法的运用以及 ARM 和 ZigBee 的结合可实现低能辐射精确的远程测量。

**关键词:** CMOS 图像传感器; ARM 微控制器; 整体求和算法; ZigBee 无线传输

**中图分类号:** N34 **文献标志码:** A **文章编号:** 0258-0934(2017) 3-0262-06

在辐射探测领域,传统辐射探测前端采用整体求最大值算法以及选取  $n \times n$  方形边缘计算辐射亮点灰度值<sup>[1]</sup>,不能包含辐射亮点全部像素的灰度值,在灰度值的计算精度上还有待提高。并且传统的 COMS 远程辐射探测技术是利用电话监控远程现场的数据等<sup>[2]</sup>,功耗较高。而 ZigBee 具有低成本,低功耗,易于组网等优势;适合于低能辐射的远程测量<sup>[3-4]</sup>。

区别于传统的辐射探测系统,本系统结合 ARM 单片机数据处理功能和 ZigBee 无线传输功能进行低能辐射的远程测量,同时利用 STM32F103 带可水平和垂直移动的 COMS 摄像

头作为前端数据采集部分,本文通过实验测量比较了由整体求最大值算法和相减求和算法得到的灰度值,提出具有更高精确度的辐射亮点灰度值计算方法即整体求和算法,实验验证了 ARM 与 ZigBee 结合实现远程测量的可行性以及整体求和算法计算辐射亮点灰度值的精确性。

## 1 系统简介

本系统硬件框图如图 1 所示。首先由 MATLAB 对辐射图像进行处理得到辐射亮点的位置及其对应像素灰度值的和,并且将处理得到的数据结果存储在 STM32F103 中,通过 STM32F103 的串口 2 进行数据发送,其次在接收端将 ZigBee 接收端 TTL 电平接收的数据存储在 ZigBee 主板中,最后设置 ZigBee 主板上的液晶显示格式,用于显示辐射亮点坐标位置和求和结果。此外,为了实现与 ZigBee 发射模块 TTL 电平——对接(Tx→Rx, Rx→Tx, GND, Vcc),在发射端接 RS232 转 TTL 电平模块,同时为了方便处理,采用 PA2、PA3 引脚外接的

收稿日期: 2017-03-26

基金项目: 河南省科技创新人才杰出青年项目(154100510007)、河南省科技攻关重点项目(142102310276)资助。

作者简介: 张松玲(1997—),女,河南南阳市人,研究方向为辐射探测技术。

通讯作者: 马春旺,男,教授, E-mail: machunwang@126.com。

RS232 接口进行数据发射。



图1 硬件设计框图

### 1.1 无线发射部分

系统无线发射部分如图2所示。利用STM32F103作为主控制器,将数字图像输入信号从OV7670 camerachiptm发射到液晶显示器。通过整体求和算法对数据进行处理,该图像处理方法将整幅图像的亮点灰度值全部求和,实验结果表明该方法的测量精确度有所提高。最后通过RS232转TTL电平模块与透传模块的相连接,从而实现数据的发送。

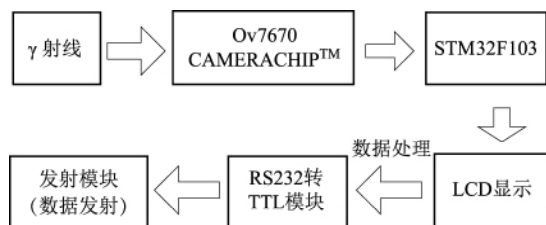


图2 数据发射原理框图

### 1.2 无线接收部分

由于低功耗工作模式下,ZigBee的传输速率低,传输数据量很小,因此信号的收发时间很短。因为放射源为低能γ源,因此在工作模式下满足测量要求。其次,ZigBee的抗干扰性能是蓝牙、WLAN和FSK的1000倍,这为测量数据的可靠性提供了保证。另外,通过大幅简化协议,降低了对节点存储和计算能力的要求<sup>[5]</sup>。因此用透传模块的一端与ZigBee相结合实现数据的接收,可更可靠、更节省成本地实现数据无线传输,数据接收的原理框图如图3所示。

## 2 辐射图像处理算法优化

系统设计中,图像处理采用整体求和法。相比整体求最大值算法、相减求和算法等,本算法在该系统中具有相对更高的精确度。该算法



图3 数据接收原理框图

实现步骤为:首先对获得的图像进行灰度化,根据 $p \pm YUV$ 颜色空间中, $Y$ 分量的物理意义是点的亮度,由该值反映亮度等级,以及 $RGB$ 和 $YUV$ 颜色空间的变化关系可建立亮度 $Y$ 与 $R$ 、 $G$ 、 $B$ 三个颜色分量的对应,变化关系如式(1)所示。

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (1)$$

式中: $Y$ 为每个像素点的亮度值; $R$ 为每个像素点红色颜色分量; $G$ 为每个像素点绿色颜色分量; $B$ 为每个像素点蓝色颜色分量;以式(1)中的亮度值表示图像的灰度值,对应各个像素灰度值为 $x_i$ 。其次对得到的灰度图像进行二值化处理。将256个亮度等级的灰度图像通过MATLAB函数自动进行阈值选取,获得仍然可以反映图像整体和局部特征的二值图像<sup>[6]</sup>,对应各个像素的灰度值为 $y_i$ 。二值图像和灰度图像相乘得到相乘后的图像;对应各个像素的灰度值为 $z_i$ 。最后求和相乘后图像的全部像素灰度值,可得到亮点像素灰度值之和,用 $\text{sum}$ 表示。计算过程如式(2)所示。

$$\text{sum} = \sum z_i = \sum x_i y_i \quad (2)$$

对计算出的灰度值,直接利用辐射成像灰度值计算辐射剂量的方法<sup>[7]</sup>,便可计算出其对应的辐射剂量。

## 3 主要性能测试与讨论

### 3.1 辐射图像算法优化数据分析

在CMOS图像传感器成像瞬间,一个γ光子通常击中邻近的若干像素,且形状不规则,那么对于整体求最大值法以及选取 $n \times n$ 方形边缘就存在误差,而整体求和法是对整体像素灰度值进行扫描边界并求和,避免了漏算,提高了测量精确度。首先将图像灰度化得到灰度图像(如图4所示)后,对灰度图像进行二值化处理得到二值图像,如图5所示。二值图像和灰度图像相乘得到相乘后图像,如图6所示。从原

始图像上只能较为模糊的观察 到辐射亮点 ,经 过处理后可清晰地观察到辐射亮点的位置 ,通 过三维显示可以更清晰地看出。整体求和算法 处理前后的灰度图像三维显示如图 7 和图 8 所示。

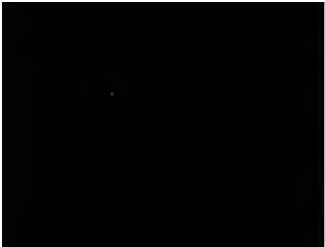


图 4 原始图像

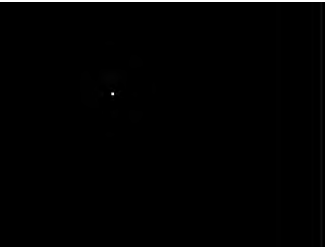


图 5 二值图像

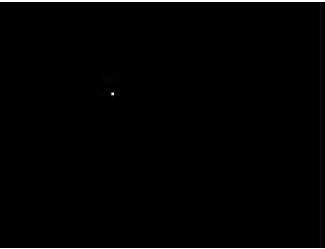


图 6 相乘后图像

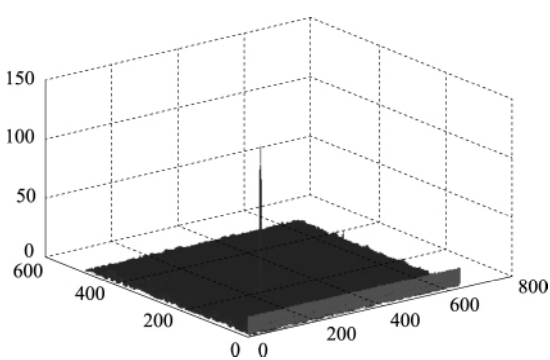


图 7 处理前灰度图像三维图

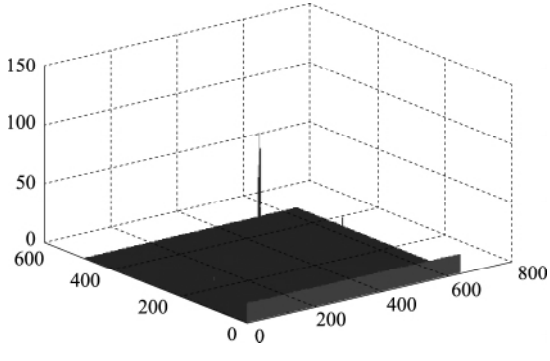


图 8 处理后灰度图像三维图

利用采集到相同钴源在连续 9 个时刻的辐射探 测图像 ,分别用上述三种方法对 9 幅图像进行 处理。钴源辐射测量得到的归一化数据如表 1 所示。对表中数据进行基于最小二乘原理<sup>[8]</sup> 的四次多项式曲线拟合 ,插值拟合曲线如图 9 所示。拟合图像表示辐射照射量率随时间的变 化规律。从图像上可以很清晰地看出整体求最 大值法图线变化幅度过大 ,因此灵敏度过高容

表 1 <sup>60</sup>Co 源不同照射量率下的归一化数据

算法	图像 1	图像 2	图像 3	图像 4	图像 5	图像 6	图像 7	图像 8	图像 9
整体求最大值法	0.095	0.181	0.107	0.116	0.162	0.110	0.070	0.044	0.115
相减求和法	0.055	0.230	0.076	0.149	0.305	0.070	0.023	0.001	0.091
整体求和法	0.070	0.209	0.079	0.157	0.243	0.077	0.055	0.016	0.094

易受外界干扰。相减求和法图线变化幅度过 小 ,灵敏度过低 ,难以检测辐射剂量的微小变 化。整体求和法的图线变化趋势介于两者之 间 ,可检测微小辐射剂量变化且不易受外界干 扰。因为该方法是将整幅图像的亮点灰度值全 部求和 ,更容易满足 ZigBee 硬件的设计要求 ,

提高了整个系统数据测量的精确度。  
**3.2 ARM 和 ZigBee 结合的硬件测试**  
首先设置发射接收的参数(波特率 ,校验 位 ,数据位)。考虑到协调双机的特性 ,采用 9 600 波特率 ,偶校验位 ,将 ZigBee 接收端 TTL 电平接收的数据存储在 ZigBee 中。设置

ZigBee 液晶显示格式 ,分别显示坐标位置、求和

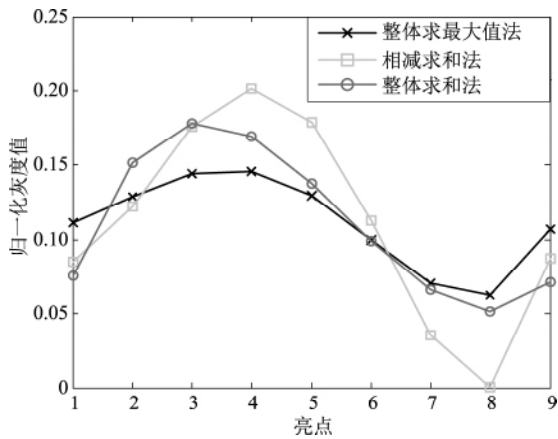


图9 插值拟合曲线图

结果 ,测试数据如表 2 所示。实验结果表明 ,STM32F103 和 ZigBee 相结合实现低能辐射的远程测量是可行的。同时 ZigBee 在低信噪比的环境下具有很强的抗干扰性能。在相同的环境中 ,ZigBee 的抗干扰性能是蓝牙、WLAN 和 FSK 的 1 000 倍。实验证明 IEEE 802. 15. 4/ZigBee 的误码率 特别是在信噪比为 4 dB 的情况下可达到  $10^{-9}$ 。要达到同样误码率 ,蓝牙/ 802. 15. 1 信噪比高达 16 dB ,802. 11 b 高达 10 dB。可见 ZigBee 的抗干扰性能明显高于蓝牙和 WLAN 技术。因此系统增加 ZigBee 后不但实现了远程测量 ,而且能保证数据的无失真传输 ,相比蓝牙、WLAN 和 FSK 等 ,ZigBee 的运用使该系统更稳定 ,数据更可靠。

表 2 ARM 和 ZigBee 结合的硬件测试结果

数据		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
发送端	位置坐标 ( H L)	( 86 50)	( 24 92)	( 40 51)	( 124 204)	( 159 44)	( 80 211)	( 213 ,116)	( 162 ,11)	( 63 43)	( 103 204)
	求和结果	14 788	7 533	14 798	11 488	12 452	14 137	13 680	13 975	16 506	25 822
接收端	位置坐标 ( H L)	( 86 50)	( 24 90)	( 40 51)	( 124 204)	( 159 44)	( 80 211)	( 213 ,116)	( 162 ,11)	( 63 43)	( 103 204)
	求和结果	14 788	7 533	14 798	11 488	12 452	14 146	13 680	13 975	16 506	25 822

3.3 系统可靠性测试

计算一个系统的可靠性 ,其基本条件是构成系统的元器件或单元部件的可靠性特征量的指标已知 ,且该系统的可靠性结构框图确定 ,前

者生产厂家已提供 ,后者为如图 10 所示的串联结构。本系统主要由光电二极管阵列、STM32F103、透传模块以及 CC2530 组成。

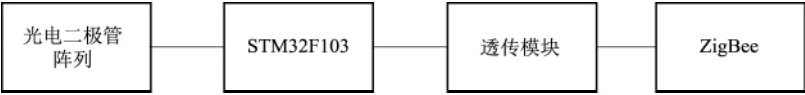


图 10 可靠性结构框图

由文献 [9]可知系统的可靠度计算公式如式( 3) 所示为。

$$\begin{aligned} R(t) &= P(T > t) = P[\min(X_1, X_2, \dots, X_n) > t] \\ &= P(X_1 > t, X_2 > t, \dots, X_n > t) \\ &= \prod_{i=1}^n P(X_i > t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \end{aligned} \quad (3)$$

式( 3) 中  $R_i(t)$  表示各独立单元可靠度 ,  $R(t)$  表示系统的可靠度。

由生产厂家提供的可靠性特征量的指标 ,可计算出各独立单元的千小时可靠度 ,如表 3 所示。

表 3 各独立单元的可靠度

单元模块	光电二极管阵列	STM32F103	透传模块	ZigBee
可靠度	0. 98	0. 99	0. 98	0. 99

综合分析可知整个系统的千小时可靠度为 0.94,由以上结果,可清晰看出该系统的可靠性较高,达到了预期效果。今后系统将分别从以下几个方面来提高可靠度,一是元器件的选择,选择可靠度高的元器件;二是冗余设计,改善采用多个光电二极管阵列引起的竞争;三是增加故障自动检测设计。

#### 3.4 系统稳定性测试

在进行短期稳定性测量实验时,首先将该系统放进 CT 室内一周,观察该系统的远程测量情况。其次将该系统放入电磁干扰室一周,观察其工作情况,测量结果基本达到预期目标。同时对系统进行了为期三个月的稳定性测试,由于该系统所选的元器件光电二极管、ZigBee 模块等,都具有较高的抗干扰能力,为系统的长期稳定性提供了保证,系统的冗余设计也为系统的稳定性提供了保证。最终发现该系统的误码率较低,在系统允许的误差范围内。

#### 4 结论

本文利用 ARM 和 ZigBee 结合,实现了精确的远程低能辐射测量。利用灰度值的对比,验证了整体求和算法辐射测量的高精确度。ARM 和 ZigBee 结合的硬件测试结果表明,由透传模块一端 STM32F103 相连实现数据发射,另一端与 ZigBee 相连实现数据接收,可实现低能辐射稳定可靠的远程测量。以上结果表明,ARM 和 ZigBee 结合可实现  $\gamma$  和钴源辐射无失真的远程测量。该系统为实现低能辐射远程测量和监测提供了一种简易的方法。在保护工作人员免受辐射危害、便于低能辐射的监测和管理等方面具有重要意义。

#### 致谢:

感谢中国科学院上海应用物理研究所王宏伟研究员、范功涛博士对本实验的支持和帮助。

#### 参考文献:

- [1] 王芳,王明远,刘玉芳,等. Obtaining low energy  $\gamma$  dose with CMOS sensors [J]. Nuclear Science and Techniques, 2014, 25( 06): 56-59.
- [2] 毛从吉,毋琦. 可用于远程辐射探测系统的数据采集与监控平台的开发 [J]. 核电子学与探测技术, 2012, 32, 201( 08): 981-984.
- [3] 宋逢泉,岳建,张占亮,等. 基于 ZigBee 无线网络的核辐射监测系统的设计 [J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2016, 39, 283( 11): 1505-1508.
- [4] Teng Zhijun, Zhang Mingru, Jiang Tao, Xu Jianjun, Zhang Qing. A power quality online monitoring system oriented ZigBee routing optimization strategy [J]. Wireless Networks, 2016, 22( 6): 1869-1875.
- [5] Wadhwa L. K, Rashmi S. Deshpande, Vishnu Priyeb. Extended shortcut tree routing for ZigBee based wireless sensor network [J]. Ad Hoc Networks, 2016, 37( Part 2): 295-300.
- [6] Hongchi Shi. Two Image - Template Operations for Binary Image Processing [J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 1997, 7( 3): 269-274.
- [7] 王芳,王明远,马春旺,等. CMOS 在辐射分布与照射量率直接探测中的应用 [J]. 核电子学与探测技术, 2013, 33, 215( 10): 1278-1281.
- [8] 徐亦唐. 基于最小二乘法的曲线拟合及其在 Matlab 中的应用 [J]. 电子世界, 2013, 424( 10): 102-103.
- [9] 姜春阳. 光纤捷联系统硬件平台可靠性测试方法研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2008.

### Design of the New Remote Measurement System for Low - Energy Radiation

ZHANG Song - ling<sup>1</sup>, CHENG Qian - qian<sup>2</sup>, GUO De - fei<sup>1</sup>, MA Chun - wang<sup>2</sup>, WANG Fang<sup>1</sup>

( 1. College of Electronics and Electrical Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

2. College of Physics and Materials Science, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

**Abstract:** A new system based on ARM single - chip and ZigBee has been designed for accurate and

266

remote measurement of low – energy radiation. The whole summation algorithm of higher accuracy is presented to optimize the front – end algorithm. The reliability of the testing system is based on the consistency between the data sent by the ARM microcontroller and the data received by ZigBee. The testing algorithm uses the MATLAB to process the image ,calculates the radiation highlights gray–scale value ,and uses the interpolation fitting method to process the data. The experimental results show that the application of the whole summation algorithm and the combination of ARM and ZigBee realizes the accurate and remote measurement of low energy radiation

**Key words:** CMOS image sensor; ARM microcontroller; the whole summation algorithm; ZigBee wireless transmission