

# 空间瞬态光辐射信号定位系统电路设计与实现

王 华<sup>1,2</sup> 汶德胜<sup>1</sup> 刘学斌<sup>1</sup> 郭 瑞<sup>1,2</sup> 王 宏<sup>1</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要** 研究并设计了基于光学定位法的空间瞬态光辐射信号定位系统. 该系统与能量探测系统协调工作, 在能量探测系统识别到目标信号后, 经过定位探测、行列编码存储及 DSP 处理计算, 最后输出闪光信号光斑的重心坐标. 介绍了系统组成及各部分电路的实现方法, 并给出测试结果. 实验表明, 系统定位准确、设计方案可行.

**关键词** 瞬态光信号; 定位; 重心

**中图分类号** V556 **文献标识码** A

## 0 引言

近年来, 随着军民需求的日益迫切, 空间瞬态光辐射信号探测技术研究在军事、民用领域都得到越来越广泛的重视. 空间瞬态光辐射信号主要包括普通闪电信号、超级闪电信号及各种宇宙射线爆等信号. 对这些信号进行长时间、大范围地监测和定位, 全面掌握和分析其特性规律, 做好预报和预防工作, 将对空间遥感器的研制、国家安全防御、气象预报等领域具有极大的实用价值<sup>[1]</sup>.

空间瞬态光辐射信号的探测主要包括能量探测和定位两部分. 能量探测部分主要实现有效剔除干扰信号、提取信号特征、判断信号能量和触发定位系

统等功能; 定位部分是和能量探测部分协调工作, 在能量探测系统检测到目标信号后, 对信号发生地进行准确定位, 并将定位结果传送给下位机. 在文献[2]中已经详细介绍了能量探测系统的电路实现, 本文将对空间瞬态光辐射信号的定位系统进行深入研究并对其具体的电路设计进行详细讨论.

## 1 系统组成及工作流程

对空间瞬态光辐射信号进行定位的基本方法是通过图像传感器对其闪光信号进行光学定位. 基于光学定位的空间瞬态光辐射信号定位系统主要由三个模块组成: 定位探测器模块、编码存储模块、DSP 定位处理模块, 其组成框图如图 1.

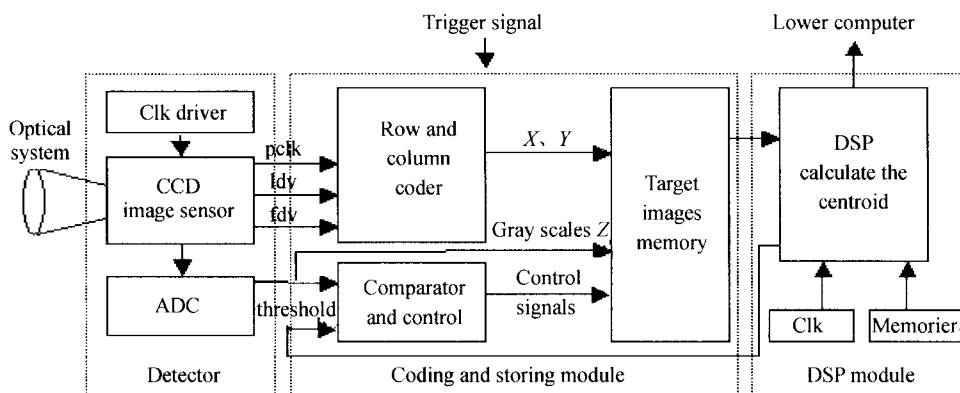


图 1 系统组成框图

Fig. 1 The block diagram of spatial transient optical location system

基于光学定位的空间瞬态光辐射信号定位系统的工作流程为: 当有目标信号发生时, 能量探测系统的触发信号到来, 定位探测器在时序信号的驱动下, 将 CCD 探测的光信号转换为以一定频率输出的模拟视频信号, 该信号经 A/D 转换电路转换为数字图像信号; 此数字图像信号和设定的门限比较后经行列编码器变为位置/灰度信息, 且在存储控制电路的

控制下, 将该信息存入图像数据存储器; 一次目标事件结束后, DSP 读取存储器中的像点数据, 并进行相应的图像数据处理, 对处理后的目标闪光信号数据计算重心坐标, 并将计算结果发送给下位机.

## 2 定位探测器

定位探测器的核心部分是图像传感器. 目前常用的图像传感器有 CCD 和 CMOS 两种, 由于空间瞬态光辐射信号定位系统要求传感器有噪音小、动态范

围大、时间空间分辨率高等特点,而 CMOS 传感器在这几个方面均劣于 CCD,所以选择 Pulnix 公司的 TM-1010 逐行扫描型面阵 CCD 相机作为定位探测器. 该相机所用 CCD 的分辨率为  $1024 \times 1024$ ; 其内部具有 A/D 转换电路,数字量化位数为 10bit,输出接口为 RS422 差分数字接口;另外,相机的帧频、增益控制、A/D 参考电压等参量均具有可编程性,应用时可以根据实际需求灵活地调整各参量.

由于 CCD 的每个像元上检测到的目标闪光信号是和该像元对应该区域的背景信号叠加在一起的,因此为了减少复杂背景对目标闪光信号的影响,系统的 CCD 相机加入相应波长范围的窄带滤光片,以滤出大部分的背景信号.

### 3 编码存储模块

当空间瞬态光辐射信号发生时,能量探测系统根据多个判据确定目标事件发生,即给定位系统发送触发信号 trigger,定位系统识别到该信号后,启动行列位置编码电路及门限比较电路. 为了便于设计调试并且提高系统的灵活性,行列位置编码电路、门限比较及存储控制电路均由 Altera 公司的高密度 CPLD 实现. 所用 CPLD 为 TTL 电平输入,而 CCD 相机为 RS422 输出,设计中,在二者之间加入 RS422 到 TTL 的电平转换芯片以实现电平匹配.

#### 3.1 行列位置编码电路

行列位置编码电路根据 CCD 相机输出的像元时钟信号 PCLK、行有效信号 LDV 及帧有效信号 FDV 之间的时序关系设计坐标计数器产生像点的 X、Y 坐标. PCLK、LDV、FDV 之间的时序关系如图 2(a)和(b),其中 N、H 及 V 分别代表像元时钟周期、行周期及帧周期<sup>[3]</sup>.

##### 3.1.1 X 坐标计数器

由图 2(a)可以看出,当 LDV 为低电平时,相机

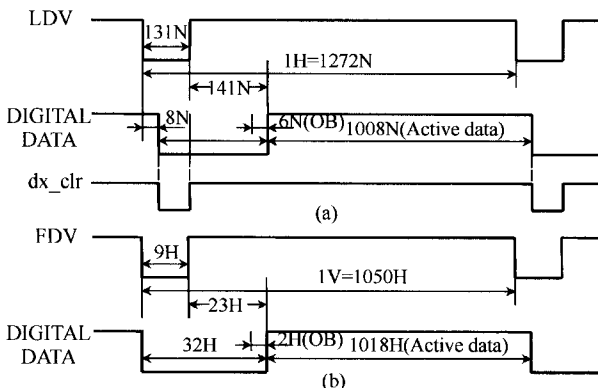


图 2 (a) 行有效信号 LDV 与像元时钟 PCLK 之间的时序关系, (b) 帧有效信号 FDV 与行有效信号 LDV 之间的时序关系

Fig. 2 (a) The timing diagram of LDV and PCLK, (b) The timing diagram of FDV and LDV

延迟 8 个像元时钟周期开始输出无效信号;当 LDV 为高电平时,相机输出 141 个无效信号(其中有 6 个空白信号)后开始输出有效数据,有效数据长度为 1008 个像元时钟周期. 因此本文所设计的 X 坐标计数器  $x\_cnt$  的位宽为 10, 清零信号为  $dx\_clr$  (由 LDV 信号的下降沿延迟 8N 而产生), 计数脉冲为 PCLK. 为了使像点的坐标精确, X 坐标计数器  $x\_cnt$  必须只对有效数据进行计数, 即  $dx\_clr$  为高时的 141 个无效数据不能参加计数, 所以设计中引入了中间计数器  $cnt1$ , 以保证  $x\_cnt$  在有效数据到来时才启动. X 坐标计数器的工作流程如图 3, 其中  $d\_x$  即为像点的 X 坐标.

##### 3.1.2 Y 坐标计数器

由图 2(b)看出,当 FDV 的下降沿到来时,相机开始输出无效数据;当 FDV 变为高电平时,相机输出 23 行无效信号(其中 2 行空白信号)后开始输出有效数据,有效数据的长度为 1018 个行周期. 因此 Y 坐标计数器  $y\_cnt$  的位宽也为 10bit, 帧有效信号

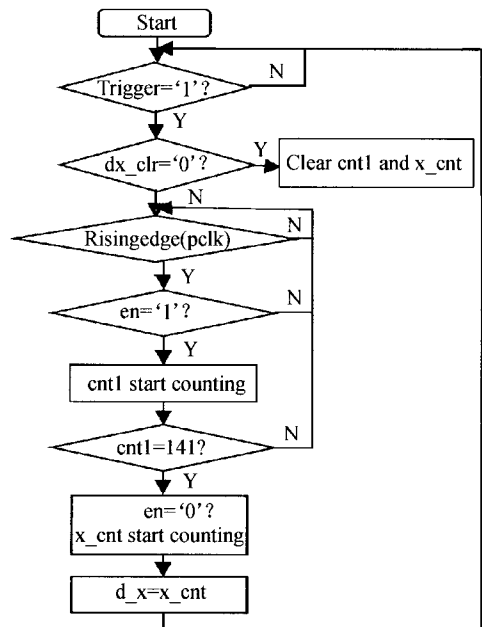


图 3 X 坐标计数器工作流程图

Fig. 3 The flow chart of X-coordinate counter

FDV 直接作为其清零信号, 计数脉冲为 LDV. 同样, 为了避免 Y 坐标计数器对无效数据计数, 设计时需引入中间计数器  $cnt2$ , 但这里  $cnt2$  应该是计到 23 时, 才开始启动 Y 坐标计数器  $y\_cnt$ . 由于 Y 坐标计数器的实现思想类似于 X 坐标计数器, 所以这里不再给出其工作流程图.

另外, 在编码电路中还包括帧标志位产生电路. 帧标志位宽度为两位, 由帧有效信号 FDV 产生. 每当 FDV 信号的上升沿到来时, 帧标志位即翻转一次. DSP 处理数据时根据此两位标志位来区别相邻帧之间的数据.

### 3.2 门限比较电路

经过滤光片光学滤波后,每帧图像的有用信息只有几到几十个像素. 因此,为了剔除大量无用数据,减少数据存储量,系统设计了门限比较电路. 该电路首先通过 DSP 设定门限值,然后将 CCD 相机输出的图像数据流中的 10bit 像元灰度数据与设定的门限值进行比较,只有大于门限值的那些图像数据才可能是目标信号. 把这些可能代表目标信号的像元数据及其在一帧图像中的行列位置编码存储到双口 RAM 中,供 DSP 处理器计算目标事件发生的位置.

为了减少 CPLD 的 I/O 端口的使用量,采用 DSP 串行传送门限的方式(DSP 的最低数据位 D0 作为传送门限的数据位). 因此门限比较电路中除了包含一个 10 位的数据比较器,还包括一个串入并出的移位寄存器(并行输出的宽度为 10bit). 门限比较电路的结构如图 4.

设计时,分配 DSP 的片外存储地址 810001H 作为串行门限数据的存放空间,DSP 连续 10 次向该地址发送数据,通过 D<sub>0</sub> 的变化来设定不同的门限;移位寄存器在移位时钟 CLK 的控制下,将串行门限转换为 10bit 并行门限;CCD 相机输出的 10bit 像元灰度值与该门限进行比较,若大于门限则 agb 信号输出为‘1’,否则输出为‘0’. 移位时钟 CLK 可由 DSP 的地址线及相关的控制选通信号组合逻辑产生.

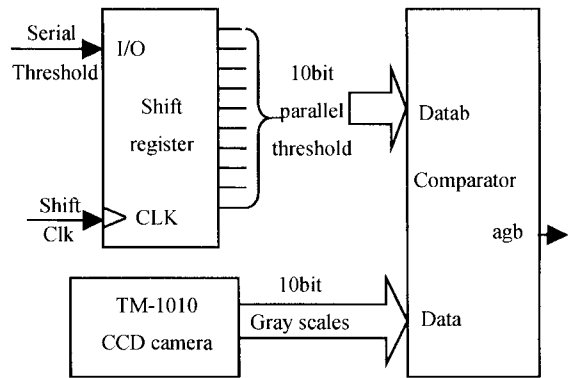


图 4 门限比较电路结构  
Fig. 4 The block diagram of threshold comparison circuit

### 3.3 图像数据存储电路

图像数据存储电路主要是缓存灰度值大于门限的像点信息,以供 DSP 读取处理. 系统采用 IDT 公司的高速 16K × 16bits 的双口静态 RAM 芯片 IDT7026 实现数据缓存.

每记录一个像点信息,需记录 10bit 的 X 坐标 ( $d_{x_0} \sim d_{x_9}$ ), 10bit 的 Y 坐标 ( $d_{y_0} \sim d_{y_9}$ ), 10bit 的灰度值 ( $d_{z_0} \sim d_{z_9}$ ) 及 2bit 的帧标志位 ( $d_{z_{10}}, d_{z_{11}}$ ), 共 32bit 数据. 因此,本文采用两片 IDT7026,将其宽度扩展为 16K × 32bits 的存储空间. 双口 RAM 存储电路的原理如图 5(a), 32bit 像点信息数据结构及存储方式如图 5(b).

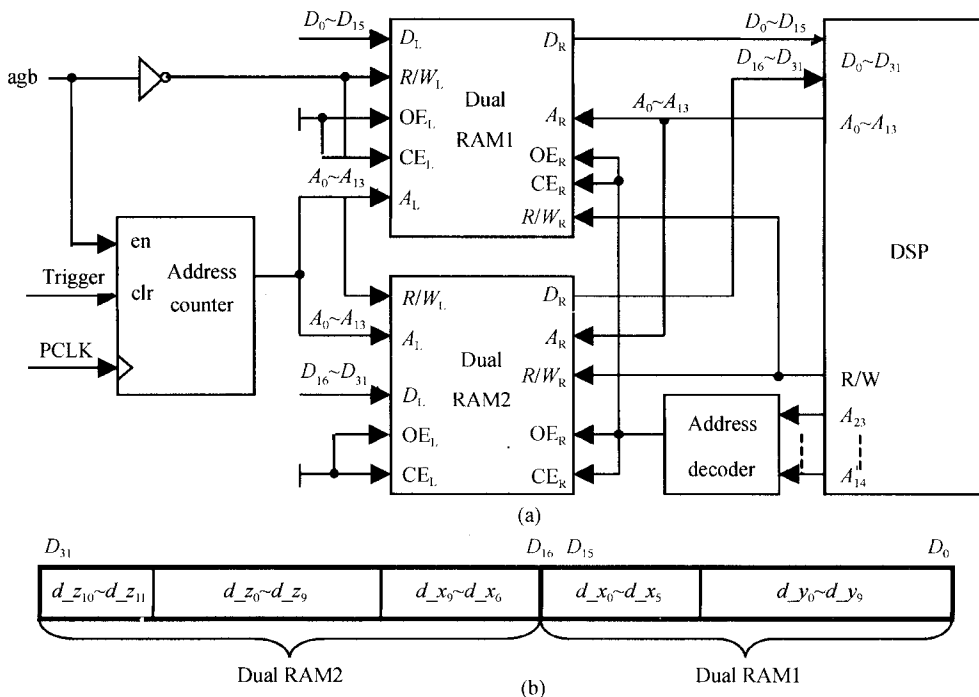


图 5 (a)双口 RAM 存储电路原理图,(b)32bit 像点信息的数据结构及存储方式  
Fig. 5 (a)The block diagram of dual RAM circuit,(b)The 32bit data structure of coordinates and gray scale for target pixels

### 3.4 存储控制电路

存储控制电路主要负责产生双口 RAM 左端口的读写信号  $R/\overline{W}_L$ 、地址信号  $A_0 \sim A_{13}$  及右端口的

片选信号  $\overline{CE}_R$ 、输出使能信号  $\overline{OE}_R$ .

由于灰度值大于门限的像点的信息才被存储到双口 RAM 中,所以双口 RAM 左端口的读写信号

$R/\overline{W}_L$  (低写入)可由门限比较电路的输出信号  $agb$  取反产生;左端口的地址信号可通过一地址计数器产生,该计数器的位宽为 14bit,使能信号为  $agb$  (高有效),清零信号为  $trigger$  (低有效,每次探测结束后  $trigger$  变为 '0',将地址计数器清零,等待下一次目标信号的到来),计数脉冲为像元时钟  $PCLK$ ,详见图 5(a).

双口 RAM 的右端口用于 DSP 读取数据,设计中为其分配 DSP 的片外存储空间地址  $890000H \sim 893fffH$ . 双口 RAM 的右端口片选信号  $\overline{CE}_R$  及输出使能信号  $\overline{OE}_R$  可由 DSP 的高 10 位地址线  $A_{23} \sim A_{14}$  地址译码产生.

#### 4 DSP 处理模块

DSP 处理器主要完成门限设定、图像信息处理,重心坐标计算等任务. 为了保证计算准确度和计算速度,系统选用 TI 公司的高性能 32 位浮点处理芯片 TMS320C32-40<sup>[4]</sup>.

在本系统中, TMS320C32 工作的主流程为:系统上电, C32 设定门限并对双口 RAM 清零等待目标事件的发生;目标事件发生并且所有大于门限的目标数据存储完毕后, C32 开始读取双口 RAM 中的数据,并对这些图像数据进行处理,识别出目标信号;计算出目标信号的重心坐标,并对双口 RAM 清零等待下次目标事件的发生. TMS320C32 进行图像信息处理,提取目标信号的具体方法及详细工作流程可参见文献[5].

#### 5 实验结果

由于目前无法得到真实的空间瞬态光辐射信号,因此,实验中用  $trigger$  信号触发高亮度的白色发光二极管发光来模拟瞬态闪光信号的光斑. 表 1 是光斑大小为 40 个像素左右,二极管发光时间为 800ms, CCD 帧频为 7.5fps,定位系统门限值为 1016 时,所测得的三组实验数据. 其中,参考值由

NI 公司的图像采集卡 PCI-1424 采集相应的光斑并通过 matlab 计算所得;  $\Delta X = X_c - X$ ;  $\Delta Y = Y_c - Y$ .

表 1 实验数据

组	定位系统测量值		参考值		误差		DSP 处理时间
	$X_c$	$Y_c$	$X$	$Y$	$\Delta X$	$\Delta Y$	
1	254.41	292.87	254.50	292.80	-0.09	0.07	17.4 ms
2	630.39	306.48	630.33	306.47	0.06	0.01	
3	557.72	347.56	557.67	347.52	0.05	0.04	

由表 1 看出,本空间瞬态光辐射信号定位系统的坐标定位误差不超过  $\pm 0.1$  个像素, DSP 的数据处理及存储空间清零时间为 17.4 ms,这说明系统具有较好的定位准确性和实时处理性.

#### 参考文献

- 黄苗青,孙胜利. 闪电探测技术. 红外, 2000, (9): 1~6  
Huang M Q, Sun S L. *Infrared*, 2000, (9): 1~6
- 卓越,李自田,汶德胜,等. 基于 DSP 和 CPLD 的空间瞬态光辐射信号实时探测系统研究. 电子技术应用, 2003, 29(12): 46~49  
Zhuo Y, Li Z T, Wen D S, et al. *Application of Electronic Technique*, 2003, 29(12): 46~49
- PULNIX. TM-1010 progressive scanning high resolution camera. 1996
- Texas Instrument Inc. TMS320C3x User's Guide. 1997
- 王华,汶德胜. DSP 图像处理技术在空间瞬态光辐射定位探测中的应用. 光子学报, 2006, 35(8):  
Wang H, Wen D S. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(8):
- 许秀贞,李自田,李长乐,等. 基于 CPLD 的可选输出 CCD 驱动时序设计. 光子学报, 2004, 33(12): 1504~1507  
Xu X Z, Li Z T, Li C L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(12): 1504~1507
- 谷林,胡晓东,罗长洲,等. 基于 CPLD 的线阵 CCD 光积分时间的自适应调节. 光子学报, 2002, 31(12): 1533~1537  
Gu L, Hu X D, Luo C Z, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(12): 1533~1537

## Research and Design of the Circuit Technology for Spacial Transient Optical Signal Location System

Wang Hua<sup>1,2</sup>, Wen Desheng<sup>1</sup>, Liu Xue Bin<sup>1</sup>, Guo Rui<sup>1,2</sup>, Wang Hong<sup>1</sup>

1 *Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068*

2 *Graduate Student College of The Chinese Academy Sciences, Beijing 100039*

Received date: 2005-05-13

**Abstract** A spacial transient optical signal location system based on optical location method is designed. This system cooperates with energy detection system. After energy detection system detects the target signal, the location system gets the target image and stores the coordinates of target pixels. Then DSP calculates the centroid of target signal and sends the results to lower computer. The composition of system, the design method of modules, and the test results are given in this paper. Experiments show that this location system is accurate and feasible.

**Keywords** Transient optical; Signal location; Centroid



**Wang Hua** was born in 1980. She is a postgraduate student of Xi'an Institute of Optics and Mechanics of CAS. Her research interests include video processing, digital signal processing, and FPGA-based system development.