

文章编号 1004-924X(2004)02-0185-05

# 基于 DSP 和 CPLD 的激光雷达 图像采集和显示集成系统

王晓东, 刘文耀, 金月寒, 郑 伟

(天津大学 精密仪器与光电子学院 教育部光电信息重点实验室, 天津 300072)

**摘要:**介绍了一种以 DSP 和 CPLD 为核心的激光雷达图像采集系统, 阐述了系统工作原理、系统结构和软硬件设计。系统以 TMS320VC5402DSP 芯片作为系统控制和图像处理的核心, 通过双口 RAM 接收激光雷达图像数据, 用 CPLD 根据场、行、列、写雷达图像 4 个同步输入信号生成双口 RAM 的地址信号实现图像存储, 原始图像和处理后图像显示在彩色 TFT 液晶屏上。此外, 系统还可通过 USB 接口与 PC 机通信实现图像的存储和回显功能。该系统为激光距离成像雷达以及距离图像的研究提供了一种有效的分析和测试工具。

**关键词:** 图像采集; 激光雷达; 数字信号处理器(DSP); CPLD; 彩色 TFT 液晶

中图分类号: TN957.52 文献标识码: A

## Laser radar image acquisition and display integrated system based on DSP and CPLD

WANG Xiaodong, LIU Wenyao, JIN Yuehan, ZHENG Wei

(Tianjin University, College of Precision Instrument and Optoelectronics  
Engineering, Optoelectronics Information Science  
and Technology Laboratory, MOE, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** A laser radar image acquisition system based on DSP and CPLD, its operating principle, makeup, hardware and software design are discussed with TMS320C5402DSP used as the controlling and image processing core in the system, the laser radar image data is acquired and stored by a DUALRAM, and their address signals are generated by CPLD according to four image synchronization signals: FRAME, LINE, COL and WRITE. Finally, the original image and processed image are both displayed on the color TFT-LCD. In addition, by USB interface this system can communicate with PC and implement image storage, redisplay. Generally, this system provide a powerful analysis and testing tool for the study of Laser range imaging radar and range image.

**Key words:** image acquisition; laser radar; DSP; CPLD; color TFT-LCD

## 1 引言

弹载测距激光雷达以一定的周期向前扫描发

射激光信号, 然后收集飞行前方障碍物反射的距离信号进行实时成像。作为激光成像雷达的重要组成部分, 激光雷达高速数据采集与显示系统的设计和完善显得尤为重要。

本系统采用 TMS320C5402 DSP 芯片作为系统的图像处理、数据传输及控制模块的核心。数字信号处理器(DSP)采用哈佛结构,并具有流水线、快速乘累加运算、循环寻址和位倒序、高速数据传输等特点<sup>[1]</sup>,很适用于高速数字信号处理。此外,系统以双口 RAM 和可编程逻辑器件 CPLD 作为图像数据接收模块的核心。图像信号经过预处理后可采用 2 种方式进行障碍物的显示,一种为 TFT LCD 液晶显示;另一种是采用 USB 接口将图像显示在计算机上。

### 2 激光测距雷达成像原理

激光雷达采用半导体激光器<sup>[2]</sup>,成像原理为距离成像,即通过雷达与目标之间的距离信息成像。激光雷达的测距方式主要有 2 种,相位测距和脉冲测距<sup>[3]</sup>,本系统采用后 1 种方式。系统中激光器对目标发射 1 个或 1 列很窄的光脉冲,然后测量光脉冲到达目标再由目标返回到接收机的时间,由此计算出目标的距离  $R$  为:

$$R = c \Delta t / 2, \tag{1}$$

式中:  $\Delta t$  为光脉冲往返经过的时间;  $c$  为光在空气中的传播速度。

在实际系统中,通过计数器测量激光从发射到接收之间的脉冲个数来计算距离。如果时标振荡器振荡频率为  $f$ ,在激光雷达和目标之间往返的时间  $t$  内(即取样信号和回波信号之间的时间间隔)包含时标脉冲个数为  $n$ ,则待测距离为:

$$L = cn / (2f), \tag{2}$$

激光测距雷达数据输出时序如图 1 所示,每秒输出  $N_c$  场,每场  $N_h$  行,每行  $N_l$  列的  $N_h \times N_l$  点阵的数字化距离图像。输出时序包括场(FRAME)、行(LINE)、列(COL)、写(WRITE) 4 个同步控制信号和 12 位并行数据(data[0...12])。

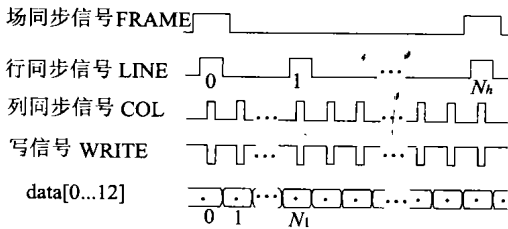


图 1 激光雷达同步输出时序

Fig. 1 Synchronal output time sequences of laser radar

### 3 激光雷达图像采集和显示系统功能

系统以 DSP 芯片为核心,以 4 帧/s 速度采集激光雷达距离图像信息,然后经过噪声滤波、边缘提取、尺寸计算等图像预处理后,最终在真彩色 TFT 液晶显示屏上显示出前方障碍物的轮廓图像。显示分辨率可达  $800 \times 600$ ,支持 2 048 种颜色,可根据不同距离设定不同的颜色,将激光雷达图像显示在液晶屏上。根据距离远近设定不同的预警级别以实现蜂鸣报警。此外,系统还可以通过 USB 接口与计算机进行通讯,实现图像的存储和回显功能。图像数据精度为 12 位,图像大小从  $32 \times 32$  像素到  $90 \times 32$  像素之间,图像在显示时适当放大以便观察。

### 4 激光雷达图像采集和显示系统设计

#### 4.1 总体结构设计

激光雷达高速数据采集和显示系统要想满足上述的系统性能要求,需要进行周密的总体结构设计。图 2 为所设计系统的总体结构框图。本系统采用了以双端口 RAM 和 CPLD 芯片为核心的激光雷达数据采集系统,分别接收激光雷达的数据信号和控制信号。以 TI 公司高性价比的新产品 TMS320VC5402 DSP<sup>[4]</sup> 芯片作为图像处理的核心芯片,经必需的图像预处理后,用 2 种方式进行障碍物图像的显示。一种是采用 EPSON 公司的 LCD 控制芯片 SED1354 进行障碍物轮廓图像的 TFT LCD 显示;另一种是采用 USB 接口芯片 FT8U245AM 实现与计算机的数据传输并将图像显示在计算机屏幕上。

如图 2 所示,系统设计可以分为 5 个模块,分别是激光雷达数据接收模块、图像数据处理模块、彩色液晶控制与显示模块、计算机 USB 接口控制与传输模块、蜂鸣报警模块。下面将分别介绍各个模块的结构。

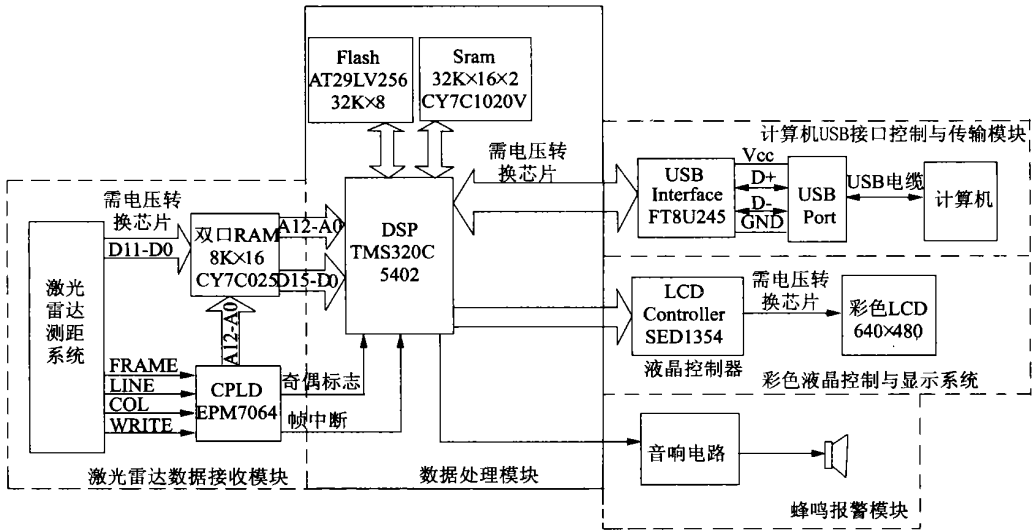


图 2 系统的总体结构框图<sup>[3]</sup>

Fig. 2 General structure of the system

### 4.2 激光雷达数据接收模块

图 3 为激光雷达数据接收模块的结构框图。激光成像雷达测距系统提供 D0-D11 的 12 位数据信号和帧 (FRAME)、行 (LINE)、列 (COL)、写 (WRITE) 4 位控制信号, 分别由双端口 RAM 和 CPLD 芯片进行接收。接收到的数据信号高位补零后实现并行 16bits 数据输出。接收到的控制信号经 CPLD 编程后产生地址线、奇偶标志和帧中断信号, 实现双端口 RAM 分奇、偶页的可寻址存储并实现 DSP 的帧中断信号。

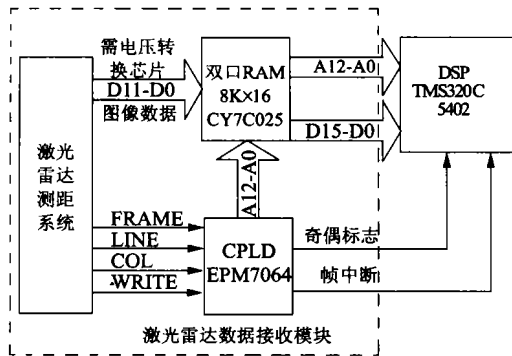


图 3 激光雷达数据接收模块

Fig. 3 Data receiving module of laser radar

### 4.3 图像接收模块设计

采用双端口 RAM 存储接收数据, 不但使 DSP

的数据处理速度不受接收数据速度的影响, 并且可防止数据丢失或减少偶然错误时所带来的严重影响。FIFO 器件也可用于高速数据存储, 但由于其不能进行存储器寻址操作, 在数据丢失或发生偶然错误后无法修正, 所以出于系统稳定性和可靠性的考虑, 不采用 FIFO 器件而采用双端口 RAM 器件进行激光雷达数据的可寻址数据接收。

### 4.4 图像数据显示与处理模块

图像数据处理以 TI 公司的 TMS320VC5402 DSP 为核心, 其采用哈佛结构, 指令执行采用流水线方式<sup>[7]</sup>。为了使 DSP 有较大的数据及程序运算能力, 设计中采用了外部扩展程序和 data RAM, 分别为 32 K × 16 bits 和 16 K × 16 bits。FLASH 在数据处理模块中为程序载入 ROM 芯片。将编辑确定后的程序写入 FLASH 芯片, 在系统上电时自动从 FLASH 中下载程序, 可以实现脱离计算机的独立系统, FLASH 大小为 32 K × 8 bits。图像数据经过增强和滤波等处理后发送到 LCD 控制芯片或 USB 接口芯片, 进行处理结果的显示<sup>[2]</sup>。

彩色液晶显示控制芯片采用 EPSON 公司的 SED1354 液晶控制芯片, 它支持 640 × 480 分辨率的真彩色 TFT LCD 显示<sup>[5]</sup>。该控制芯片由 DSP 直接控制, 需要外加 EDO-DRAM 作为显示缓冲

区, 即 VRAM。设计中采用了 Hynix 公司的 GM71V18163C 1M × 16 bit 芯片。输出端经过 TI 公司电压转换芯片 SN74CBT16245 和 SN74CBT3245A 后与液晶屏连接。液晶屏使用 Philips 公司的 LP064V1 真彩色 TFT LCD。

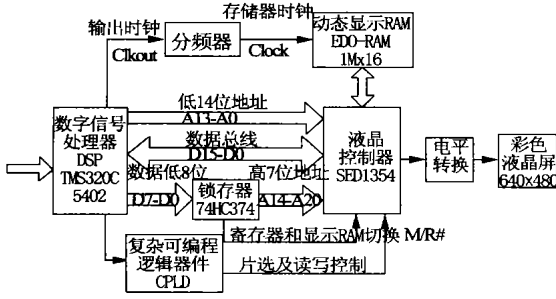


图 4 激光雷达图像显示和处理模块

Fig. 4 Image displaying and processing module of laser radar

图 4 为图像显示和处理模块。其中 M/R# 为液晶控制器 SED1354 芯片的显示参数设定寄存器和液晶 VRAM 控制转换控制引脚。当 M/R# 为低电平时, 设定显示参数, 例如分辨率, 颜色和刷新频率等; 当 M/R# 为高电平时, 可以向 VRAM 写入显示图像数据, 此时 SED1354 芯片根据内部寄存器中的显示参数将显示 RAM(EDO-RAM) 中的数据显到液晶屏上。EDO-RAM 是动态 RAM, 它的读写和刷新操作需要外部时钟, 且对时钟占空比要求严格, 经笔者实验外部晶振不能满足要求, 故采用 DSP 输出的时钟信号 CLKOUT 经分频后作为显示 RAM 的时钟 CLOCK。C54x 系列 DSP 外部数据地址空间只有 64 K 大小, 地址从 A0-A15; 而彩色 LCD 的 VRAM 为 2 M × 8 bit 大小, 地址从 A0-A21, 所以采用 74HC374 锁存高位地址和 M/R# 控制脚的方法进行 VRAM 寻址和显示寄存器操作, 以 data bus 低七位 D6-D0 作为 VRAM 的 A14-A21 高位寻址, 而 D7 作为 M/R# 选择控制位。此外, 液晶控制器 SED1354 芯片输出的显示数据需要从 3.3 V 转换 5 V 以提供给 TFT-LCD。

#### 4.5 计算机 USB 接口控制与传输模块

由于 USB 接口的高速性和即插即用性等优点, 设计中采用 USB 接口来实现系统与计算机的

通信。USB 接口芯片采用 FTDI 公司的 FT8U245AM 芯片, 将 DSP 的并行 8 位数据流转换成 USB 串行数据流。对于计算机来说, FTDI 公司提供虚拟 COM 口驱动程序, 可将 USB 接口虚拟成串行 COM 口实现设备的识别和数据的传输<sup>[6]</sup>。这样, 通过 VB 或 VC 调用 Windows 串行通信函数或类, 即可实现微机与系统之间的 USB 通信。USB 接口协议采用 USB1. 1, 通信速率可达到 1 MByte/s, 能够满足系统要求。

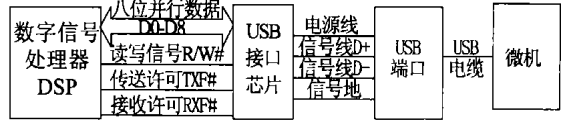


图 5 系统 USB 接口模块

Fig. 5 USB interface module of system

图 5 为系统 USB 接口示意图, 其中 TXF# 和 RXF# 分别为 USB 芯片数据传送许可标志和接收许可标志。当 USB 芯片内部传送 FIFO 满时, TXF# 输出高电平, 此时 DSP 应等待, 直到 TXF# 变低后, 继续向微机传送数据; 当 USB 芯片接到微机传来的数据时, RXF# 由高电平变为低电平。总之, 通过 DSP 判断 USB 芯片输出 TXF# 和 RXF# 标志, 实现系统与微机双向 USB 通信。此外, USB 芯片输出 5 V 高电平, 而 DSP 芯片输入 3.3 V 高电平, 故 DSP 与 USB 芯片之间需要电平转换

#### 4.6 蜂鸣报警模块

主要音响电路由可编程 8253 定时器实现音频报警控制, 依照激光雷达与前方障碍物距离远近分成 5 个预警级别, 预警级别越高, 音频越高。

#### 4.7 系统译码电路设计

由于硬件系统的复杂性, 故采用 CPLD(复杂可编程逻辑器件) 进行译码电路设计, CPLD 可替代逻辑门器件的使用, 提高数字电路系统的稳定性。本系统中的 CPLD 采用 Altera 公司 MAX7000 系列中的 EPM7064AE 芯片<sup>[7]</sup>。该芯片支持下载电缆编程, 采用 Max+ Plus II 软件进行编程, 生成整个系统中所需的地址总线、片选信号、读/写信号及其他控制信号。

## 5 系统软件设计

系统软件编写包括两部分,即 DSP 主控程序和基于 CPLD 的系统控制逻辑时序。激光雷达输出图像控制时序,也就是场(FRAME),行(LINE),列(COL),写(WRITE)4个同步控制信号输入到 CPLD 芯片内,然后根据这4个同步控制信号生成双口 RAM 左端地址信号 AL[0...12],从而将激光雷达图像数据存入双口 RAM 中,并且每一场图像开始时,即当 FRAME 信号来到时向 DSP 发出中断信号 INT2, DSP 在 INT2 服务程序中将双口 RAM 中数据读出。此外, CPLD 还负责完成系统中各种芯片选和读写信号生成。CPLD 芯片 EPM7064AE 使用 Altera MAX+ plus II 软件和下载电缆完成编程,逻辑时序通过图形输入方式和 VHDL 语言两种方式混合编程实现。

### 参考文献:

- [1] 张雄伟, 曹铁勇. DSP 芯片的原理与开发应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000. 11-20.  
ZHANG X W, CAO T Y. *The principle and development of DSP* [M]. Beijing: Electronic Industry Publishing House, 2000. 11-20. (in Chinese)
- [2] 王德, 李学千. 半导体激光器的最新进展及其应用现状[J]. 光学 精密工程. 2001, 9(3): 279-283.  
WANG D, LI X Q. New progress in semiconductor lasers and their applications[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2001, 9(3): 279-283. (in Chinese)
- [3] 金月寒. 激光雷达数据采集和显示集成系统的研究[D]. 天津: 天津大学, 2002.  
JIN Y H. *Study on data acquisition and display integrated system of laser radar* [D]. Tianjin: Tianjin University, 2002. (in Chinese)
- [4] Texas Instruments. TMS320C54x DSP CPU and peripherals reference set volume 1[Z]. 2000.
- [5] EPSON. SED1354 color graphics LCD/CRT controller technical manual[Z], 1998.
- [6] FTDI. FT8U245AM USB FIFO fast parallel data transfer IC data sheet[Z], 2000.
- [7] ALTER Corporation. ALTERA corporation, MAX 7000A programmable logic device data sheet[Z], 2001.
- [8] 郭强, 陈桂林. 基于双 DSP 的遥感图像实时并行处理系统[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(6): 547-548.  
GUO Q, CHEN G L. Realtime parallel processing system for remote images based on two DSPs[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(6): 547-548. (in Chinese)

作者简介: 王晓东(1976-), 男, 河北石家庄人, 天津大学精密仪器与光电子学院在读博士研究生, 主要研究方向为光电信息和数字图像处理。

DSP 芯片软件编程是整个系统软件设计的核心。系统使用 C5000 Code Composer Studio2 DSP 集成开发环境, 采用汇编和 C 语言混合编程, 完成对 TMS320VC5402 DSP 芯片的开发和调试, 实现系统数据控制和处理功能。

采用 FTDI 公司提供的虚拟 COM 口驱动程序 FTD2XX, 操作系统可自动将 USB 设备识别成 COM3 口。因此, USB 设备的客户端程序可以通过 Visual C++ 软件编写串口通讯程序来实现。

## 6 结 论

以 TMS320VC54x DSP 为核心的系统实现了激光雷达的实时数据采集和图像显示和处理, 为激光距离成像雷达研究提供了一种有效的测试仪器, 并且为距离图像的后期处理和分析奠定了良好基础。