

# 基于 FPGA 的 LCD1602 显示系统研究

学号 201202020211 名字文海霞 学号 201202020233 名字杨丰铭

**摘要：**本设计中使用开发板外接 LCD1602 液晶显示屏，此显示屏能够显示 2 行 16 列的  $5 \times 7$  点阵字符，液晶模块内部 CGROM 中储存的字符包括阿拉伯数字、英文字母的大小写、常用的符号和日文假名等。使用液晶显示屏相比于数码管或者 LED 显示有着极大的优势，其应用范围更广、显示功能更强，易于实现当今系统设计中越来越多的人机交互功能。

**关键词：**LCD1602；动态显示；状态机；液晶；CGROM

## 1、引言

如今 LCD 液晶在智能电子产品中应用广泛，使用 LCD 液晶显示的系统设计已经成为电子产品设计中不可或缺的一部分。使用 FPGA 对 LCD1602 进行驱动，可以实现系统各模块并行执行，从而使得显示部分实时反映系统状态，而且对于程序的各个模块便于修改与移植。本设计使用 Verilog 语言对 BASYS2 开发板进行编程，驱动 LCD1602 显示字符。

## 2、整体方案设计

LCD1602 受 BASYS2 开发板上的一块 XC3S100E FPGA 芯片控制，两者通过杜邦线相连。通过对 FPGA 进行编程就可以驱动 LCD1602，从而实现字符的显示。系统框图如图 1 所示。相关引脚及功能如表 1 所示。

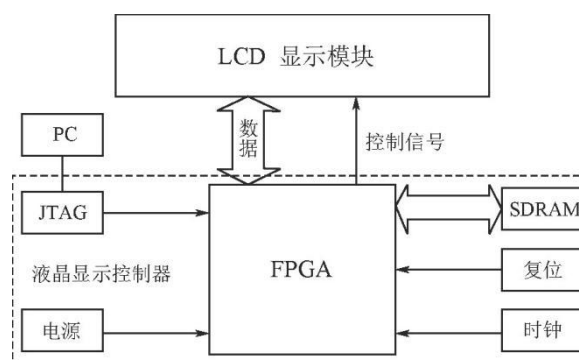


图 1 系统框图

| 引 脚             | 功 能       |
|-----------------|-----------|
| LCD_DATA[0...7] | 数据传输端     |
| LCD_R/W         | 读/写选择端    |
| LCD_RS          | 数据/命令选择端  |
| LCD_EN          | 使能信号      |
| LCD_ON          | LCD电源开关   |
| LCD_BLON        | LCD背光电源开关 |

表 1 引脚及功能表

3、硬件设计

3.1 并行控制

本系统主要功能为通过 LCD1602 驱动程序显示 CGROM 中包含的字符，显示过程中可以随意选择在 LCD 上显示的字符位置，并且可以通过按键实现复位功能。LCD1602 通过 8 位并行信号进行控制。

本系统使用并行控制的方式驱动 LCD1602，并行接口可以使数据的各位同时进行传送，其特点是传输速度快，但当传输距离较远、位数又多时，就导致通信线路复杂且成本提高。由于本系统中 FPGA 芯片与 LCD1602 直接相连，不必考虑线路成本的问题，并且并行控制的驱动程序相对较 容易实现，因此选择并行控制的方式。

在系统的并行控制当中，FPGA 作为主机，LCD1602 作为从机。主机对从机的控制按照操作时序执行。读操作时序和写操作时序分别如图 2 和图 3 所示。

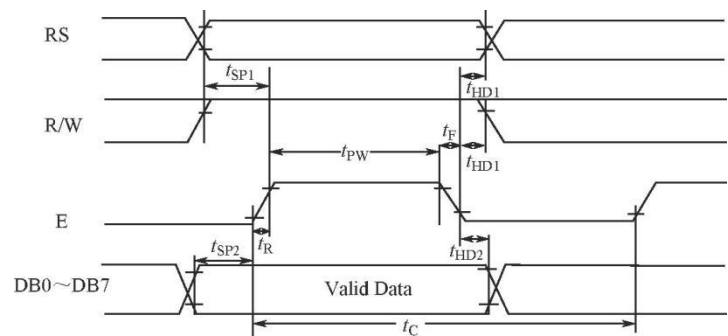


图 2 读操作时序

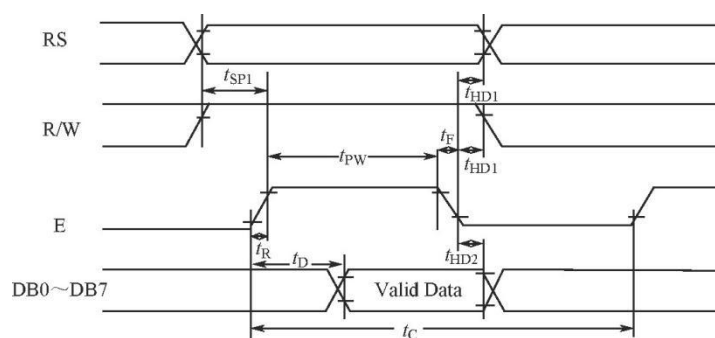


图 3 写操作时序

在本系统下只需要对 LCD1602 进行写操作就可以满足系统功能，主机向从机写数据过程中 LCD\_EN 的宽脉冲信号依据始终时钟实现，当从机接收到主机的宽脉冲信号时依据当前 LCD\_RS 和 LCD\_RW 的电平状态进行相应的写数据或者写指令的操作。

以写指令为例解释图 3 中写操作时序的含义，当要写命令字节的时候，时间由左往右，RS 变为低电平，R/W 变为低电平，此时 RS 的状态先变化完成。此后 DB0~DB7 上的数据进入有效阶段，接着 E 引脚有一个整脉冲的跳变，接着要维持时间最小值为  $t_{pw}=400ns$  的 E 脉冲宽度。然后 E 引脚负跳变，RS 电平变化，R/W 电平变化。这样便是一个完整的 LCD1602 写命令的时序。在操作时序中 E 正跳变后接收并锁存 DB0~DB7 上的数据，E 负跳变到来时发送数据，指令执行。写数据时基本操作与写指令类似，只是操作时序中 RS 为高电平。

一个操作时序 LCD 可以接收一次 DB0~DB7 上的数据，也就是一个操作时序 LCD 可以收到 1 字节的数据或指令，系统对 LCD 的所有的写操作都基于此操作时序。

### 3.2 指令集

LCD 为完成相应的显示功能有一套自己的指令集，用户可以通过这些指令集对 LCD 实现各种操作，从而实现 LCD 的驱动显示。指令集包括工作方式设置指令、显示开关控制指令、进入模式设置指令、光标复位与清屏指令、设置 DDRAM 地址指令等。

- (1) 工作方式设置指令。如图 6 所示，DL 值控制数据接口位数，DL=1 时有 8 位数据接口（D7~D0），DL=0 时有 4 位数据接口（D7~D4）。N=0 时一行显示，N=1 时两行显示。F=0 时以 5×8 点阵字符显示，F=1 时以 5×10 点阵字符显示。

|      | RS | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Code | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | DL  | N   | F   | X   | X   |

图 4 工作方式设置指令

本系统中工作方式为 8 位数据接口 5×8 点阵字符显示，工作方式设置指令为 0x38。

- (2) 显示开关控制指令。如图 5 所示，D=1 时显示开，D=0 时显示关。C=1 时光标显示，C=0 时光标不显示。B=1 时光标闪烁，B=0 时光标不闪烁。

|      | RS | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Code | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | D   | C   | B   |

图 5 显示开关控制指令

- (3) 进入模式设置指令。如图 6 所示，I/D=1 时写入新数据后光标右移，I/D=0 时写入新数据后光标左移。S=1 时显示移动，S=0 时显示不移动。本系统中显示不移动光标、写入新数据后右移，进入模式设置指令为 0x06。

|      | RS | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Code | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | I/D | S   |

图 6 进入模式设置指令

- (4) 光标复位与清屏指令。根据图 7 和图 8 可以知道清屏指令为 0x01，光标复位指令为 0x02。

|      | RS | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Code | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |

图 7 清屏指令

|      | RS | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Code | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | X   |

图 8 光标复位指令

- (5) 设置 DDRAM 地址指令。如图 9 所示，这个指令用于设置 DDRAM 地址。在对 DDRAM 进行读写之前，首先要设置 DDRAM 地址。然后将要显示的字符写入 DDRAM。

|      | RS | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Code | 0  | 0   | 1   | a   | a   | a   | a   | a   | a   | a   |

图 9 设置 DDRAM 地址指令

## 4、程序分析

### 4.1 时钟设计

本系统所使用的 LCD1602 显示器属于低频显示器件。设计中系统频率由 BASYS2 开发板上的 50MHz 晶振提供，由于数据在显示器中的建立需要较长的时间，如果以 50MHz 频率直接驱动显示屏，显示器无法正常接收数据就不能正常显示。根据 LCD1602 数据手册中的时序要求容易看到，时间要求都处在  $\mu s$  级别，所以在软件设计中将 50MHz 频率分频到 500Hz 为 LCD 的显示提供频率。进行程序

设计时，计数器模块中通过计数器的形式将 50MHz 频率分频为 500Hz 频率。

4.2 驱动设计

本系统根据 LCD1602 数据手册时序图通过状态机的形式完成对 LCD1602 的驱动，状态机共有 6 个状态：DISP\_SET、DISP\_OFF、CLR\_SCR、CURSOR\_SET1、CURSOR\_SET2、ROW1\_ADDR 功能分别为设置显示模式为：8 位 2 行 5×7 点阵、不显示光标，关闭显示，清屏，第一行光标设置，第二行光标设置，写入数据地址。

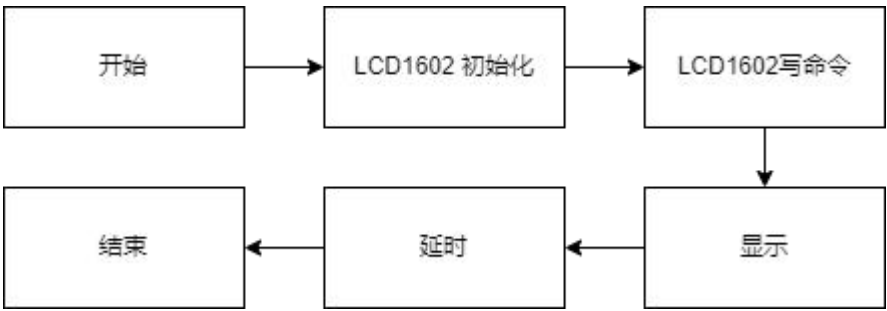


图 10 系统程序框图

5、系统实测

将调试完成的程序下载到 BASYS2 开发板上之后，LCD1602 屏幕上可以正常显示所需要显示的学号与姓名拼音缩写，通过复位按键可以重新刷新 LCD1602 的显示。如图 11 为仿真图，图 12 为实物图。

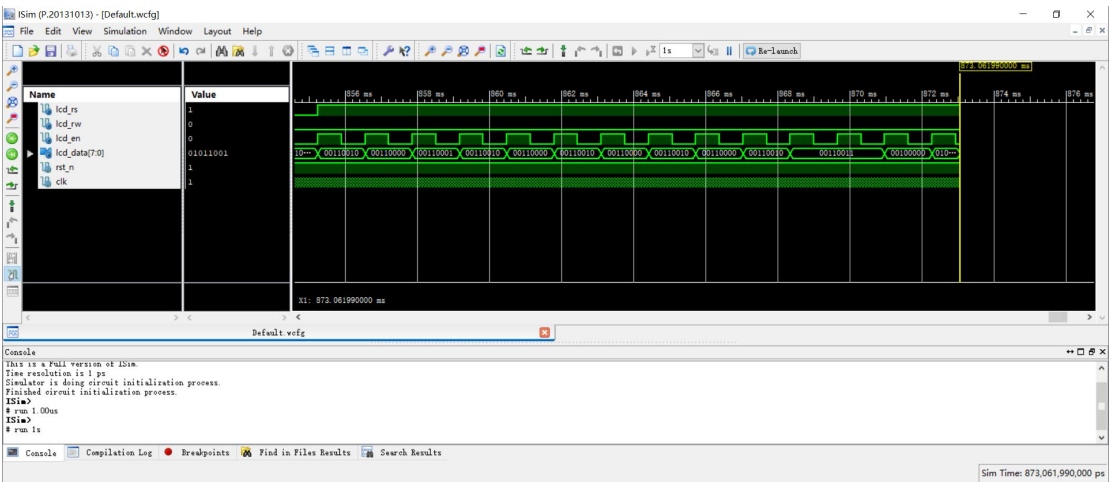


图 11 仿真图



图 12 实物图

## 6、总结

LCD1602 显示屏的使用在各种智能化产品上随处可见，对于显示屏显示字符的研究有着重要的意义。本设计中对 LCD1602 的静态字符显示进行了分析研究，由于 Verilog 程序易于修改、可移植性强的特点，本设计可以简单地移植到其他需要液晶显示的场合中，为其他较为复杂的系统提供显示模块。同时，LCD1602 由于每个小显示区域间存在分割，导致中文字符以及复杂图形的显示效果欠佳，如追求更好的显示效果可更换为 OLED 屏幕。

## 参考文献

- [1] 盛象飞. 基于 FPGA 的液晶显示控制器的设计与实现 [J]. 电子世界, 2015 (13): 187-188.
- [2] 李璐, 余英. 基于 FPGA 的 LCD 动态显示控制系统设计与实现 [J]. 信息系统工程, 2016 (1): 96-97.
- [3] 梁强. 字符型液晶模块 1602 快速应用 [J]. 科技信息, 2012 (35): 148-149.
- [4] 黄杰勇. 基于 CPLD 实现 LCD1602 显示设计 [J]. 科技创新导报, 2013 (4): 83-83.
- [5] 刘长荣. 时序信号分析系统 [D]. 大连: 大连交通大学, 2008.
- [6] 邢建平, 曾繁泰. VHDL 程序设计教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [7] 陈耀和. VHDL 语言设计技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [8] 姜雪松. VHDL 设计实例与仿真 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.