

数字逻辑 2019 秋季学期 project 说明书

Project 报告要求:

1. 开发计划（任务划分、进度安排、责任人）及执行记录
2. 设计
 - a) 需求分析（确定系统功能、输入/输出设备及端口规格）
 - b) 系统结构图（请采用结构化设计的方法，确定各子模块的功能，模块间的接口定义）
 - c) 系统执行流程（数据流向、状态转移图、功能伪代码等）
 - d) 子模块代码（请对模块功能、接口特性以注释的方式进行描述）
 - e) 约束文件（请在文档中增加必要的说明）
3. 测试
 - a) Testbench 文件
 - b) 子模块的仿真波形及测试结果
 - c) 联合调试的仿真波形（可选）及测试结果
4. 总结
 - a) 开发过程中遇到的问题及解决方案的总结
 - b) 对当前系统的特色以及优化方向进行描述。

评分（100 分制）

1. 系统（70%）
 - a) 基本功能（60%）
 - b) 代码规范（结构化设计、模块及端口命名、注释）（10%）
 - c) 题目中指定的可选功能（20%）
 - d) 按照同类项目中的最佳作品满分为标称进行计分（10%）
2. 报告（15%）
3. 演示（15%）

建议:

分工时请每位成员都认领至少一个功能块的开发和测试功能，每位成员需要对自己的模块的功能及质量负责。

提醒：请尽早与周边模块负责人确定接口规格；联调需要所有成员共同参与。

任务一、简易 VGA 显卡

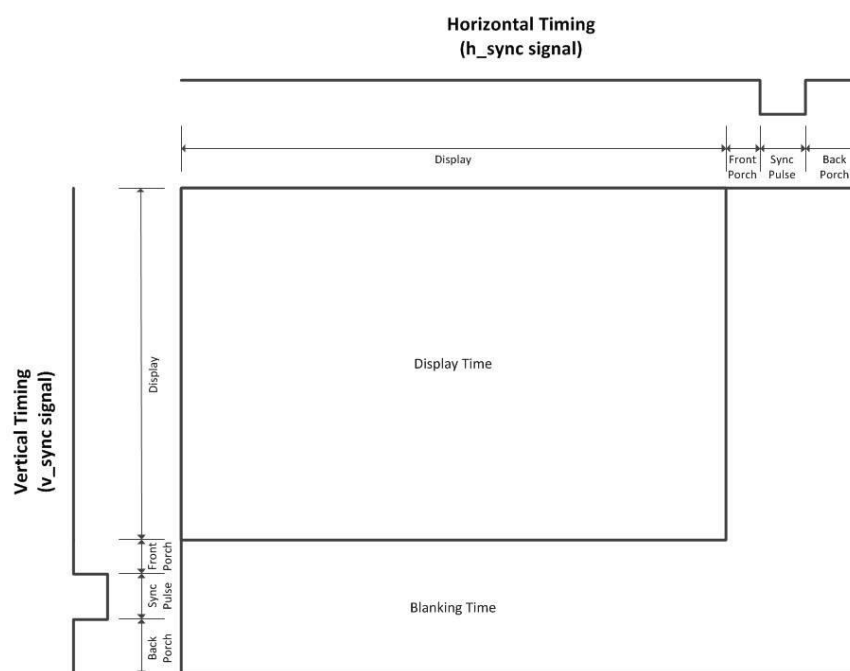
任务和要求：

1. 使用开发板上的 FPGA 芯片和 VGA 输出接口，向显示器输出分辨率为 640*480 的彩色条带图像（黑、白、红、绿、蓝、青（蓝+绿）、粉（红+蓝）、黄（红+绿））。
（系统分中占比 20%）
2. 使用提供的图像文件，将图像显示在屏幕上。（系统分中占比 20%）
3. （二选一）（系统分中占比 20%）
 - a. 利用板载 USB-UART 串口，从串口输入文字并显示在屏幕上。
 - b. 利用板载 USB-UART 串口，从串口输入图片并显示在屏幕上。
4. （可选项）在实现以上要求的基础上实现 VGA 不同分辨率之间的切换，用开发板上的按键控制分辨率切换，并在数码管上显示当前分辨率。（系统分中占比 20%）

设计说明与提示：

1. VGA 显示信号的工作原理

在老式的 CRT 显像管显示器中，为了显示一帧画面，显像管所发出的电子束需要在显示屏上进行逐行扫描，激发屏幕内不同颜色的荧光粉发光，从而形成不同明暗和颜色的画面。扫描从屏幕左上角开始，从左向右逐点扫描。每扫描完一行，电子束将回到下一行起始位置，并开始新一行的扫描。为了防止回到起始位置时造成路径的发光，在此期间电子束将被停止发射（称为消隐）。每行扫描结束时，采用行同步信号进行同步。当全部行完成扫描时，形成一帧，并使用场同步信号进行同步，电子束回到屏幕左上角开始准备下一帧的扫描。在电子束回到起始点的过程中也需要进行消隐。然而时至今日（2019），CRT 显示器在日常用途中早已被更先进的液晶显示器所淘汰，液晶显示器的原理决定了它不再需要按照逐行扫描的方式显示图像。然而 VGA 作为已被广泛应用的显示协议之一，出于兼容性的考虑而被保留了下来。因此，在 VGA 协议中一些 CRT 显示器时序上的特征被保留了下来。下面的图片显示了 VGA 的工作时序：



(https://www.digikey.com/eewiki/download/attachments/15925278/signal_timing_diagram.jpg?version=1&modificationDate=1368216804290&api=v2)

可以看到行时序和场时序都包含有四个部分：Display, front porch, sync pulse 和 back porch. 在 display 段内，显示器接受 VGA 端口发送来的数据信号，并将接收到的数据显示在屏幕上。Sync Pulse 就是我们提到过的行同步脉冲和场同步脉冲。Front porch 和 Back porch 是在同步脉冲前后的非显示区域，在老式的 CRT 显示器中用于控制图像的偏移。现代显示器都带有图像自动调节功能，因此我们只需要按照标准实现即可。Front porch、back porch、sync pulse 位于消隐间隔内，在此期间 RGB 信号无效，不显示数据。另外，在 VGA 的工业标准中，行同步，场同步都为负极性，即同步脉冲要求是负脉冲。

具体到不同分辨率和刷新率，不同部分所包含像素数各不相同。对于 640*480@60Hz，时序数据如下：

General timing

Screen refresh rate	60 Hz
Vertical refresh	31.46875 kHz
Pixel freq.	25.175 MHz

Horizontal timing (line)

Polarity of horizontal sync pulse is negative.

Scanline part	Pixels	Time [μ s]
Visible area	640	25.422045680238
Front porch	16	0.63555114200596
Sync pulse	96	3.8133068520357
Back porch	48	1.9066534260179
Whole line	800	31.777557100298

Vertical timing (frame)

Polarity of vertical sync pulse is negative.

Frame part	Lines	Time [ms]
Visible area	480	15.253227408143
Front porch	10	0.31777557100298
Sync pulse	2	0.063555114200596
Back porch	33	1.0486593843098
Whole frame	525	16.683217477656

(<http://tinyvga.com/vga-timing>)

由于 25.175 MHz 和 25MHz 极为接近，因此在一般实践中，我们取像素频率为 25MHz。关于 Pixels 和时间的换算，我们可以用像素数除以像素频率来获得。例如，水平时序中的可见区域共有 640 像素，则所占时间为 $640/25\text{M}=24\mu\text{s}$ 。

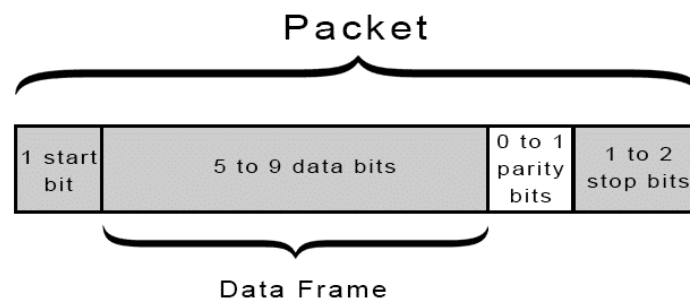
VGA 采用的是红绿蓝三原色模拟信号输出像素数据。我们可以将每个颜色分量最亮看作 1，最暗看作 0，利用板载 VGA 接口的电阻网络实现不同颜色值的像素输出。通过利用电阻分压网络，我们可以实现每个颜色分量 4bit 的色彩输出。关于电阻网络的具体用法，请参考 Minisys 或 EGO1 的使用手册。

总结：要实现基础的 VGA 视频输出，我们只需要向显示器提供两组信号：一组是时序信号（vsync 和 hsync），一组是数据信号（RGB 三个通道的模拟信号，通过电阻网络实现）。显示器会根据接口提供的时序自动识别分辨率信息，同时显卡发送的数据信号也需要遵循像素频率的规定。

2. 显示图片：我们将会提供 RGB 格式的图片（.coe 文件）以及一个用 Python 语言编写的图片转换脚本（img2coe.py）。由于 FPGA 内部的 Block RAM 只有几千 kbits，因此所提供的未压缩图片可能会小于实际屏幕分辨率。提供的图片有两张：parrot.png 和

Lenna.png, 同学们可以选取任意一张。其中 png 文件为未转换之前的原图, bmp 文件为去除透明度和降低色深后的效果图, coe 文件为 FPGA 的 BRAM 数据文件。

3. USB-UART 串口显示图像或文字: UART 的全称是通用异步收发器, 是实现设备之间低速数据通信的标准协议。“异步”指不需要额外的时钟线进行数据的同步传输, 双方约定在同一个频率下收发数据, 此接口只需要两条信号线 (RXD、TXD) 就可以完成数据的相互通信, 接收和发送可以同时进行, 也就是全双工。收发的过程, 在发送器空闲时间, 数据线处于逻辑 1 状态, 当提示有数据要传输时, 首先使数据线的逻辑状态为低, 之后是数据位、一位校验位 (可选)、1-2 位停止位。校验一般是奇偶校验, 停止位用于标示一帧的结束, 接收过程亦类似, 当检测到数据线变低时, 开始对数据线以约定的频率抽样, 完成接收过程。UART 的数据帧格式如下:



通常建议使用 8 位数据位和 1 位停止位, 无校验位。

波特率表示数据传输的速率, 单位 bps, 表示位每秒。比如 9600bps 就表示 1s 可以传输 9600bits 的数据。异步收发没有时钟控制数据的传输, 就需要保证收发双方在波特率设置上的一致。确保接收数据的完整性。程序中通常使用 16 倍速率对 UART 通信时序进行采样, 则 UART 通信所需的时钟频率就是 $16 \times \text{bps}$ 。常见的波特率有 9600、115200 等。板载的 CP2102 支持波特率范围在 300-1Mbps 之间的任意波特率, 我们可以利用开发板上的时钟分频后对串口进行采样并将其还原成我们所传输的数据。在显示图片或文字的过程中, 我们需要暂存已接收到的数据以便在屏幕上显示。这就需要用到开发板上搭载的 SDRAM 内存模块。关于 SDRAM 模块的具体使用, 请参考开发板的说明手册。

另外, 因为视频信号输出是按照像素输出, 因此我们需要预先在 ROM 中存储需要显示的文字的点阵图形。点阵图形将以 .coe 文件的形式提供给大家使用。(文件名为 char_rom.coe, 包含 ASCII 码 0~127 之间的字符)

4. 实现不同分辨率之间的切换: 参考不同分辨率下的时序图, 显示器会根据对应的行时序和场时序自动识别分辨率和刷新率。但需要注意分辨率越大, 所需要的时钟频率越高。板载时钟仅为 100MHz, 因此可实现的分辨率存在上限。

任务二、智力抢答器

任务和要求：

设计一个多路抢答器，选手可以进行抢答控制，主持人可以进行系统复位和评分。主持人设定可以开始抢答时，抢答计时器进入 30 秒倒计时，倒计时的时间显示在数码管上，有人抢答时则数码管显示选手号码及剩余时间，同时禁止其他人的抢答，抢答结果由主持人进行判断，并通过控制器对回答者进行加、减分的判定（答对得分，答错减分），分数更新后在数码管上显示所有选手的分数。

1. 实现多路抢答器功能，通过开发板上的按键开关实现多组选手的抢答，要求抢答时间需要在抢答计时之内，且一组抢答后其他组的抢答按钮输入将被封锁。当选手抢答成功时，蜂鸣器鸣叫，抢答成功的选手指示灯亮，未抢答成功的选手指示灯不亮。（系统分中占比 20%）。
2. 设置一个抢答控制开关 Start, 由主持人控制, 只有当主持人按下开始键才能抢答，在主持人按开始键之前任何抢答都失效。主持人按下开始键后蜂鸣器鸣叫以提示选手可以开始抢答。（系统分中占比 5%）。
3. 设置评分开关，由主持人控制，抢答正确给选手+1 分，错误则 -1 分。（系统分中占比 10%）。
4. 抢答器具有锁存与显示功能。即选手抢答成功，锁存相应的组号，并在 LED 数码管上显示抢答成功的选手号码和当前分数。当选手达到 10 分时获胜，在数码管上滚动显示每组编号及分数，最终驻留显示得胜组的组号。（系统分中占比 20%）。
5. 设置一个复位按钮，实现抢答器的复位操作。（系统分中占比 5%）
6. (可选)
 - a) 实现抢答器的设置模式，进入设置模式后可以设置（1）参与者人数（2-4），（2）抢答倒计时的时间，（3）每题抢答正确的得分和抢答错误的扣分（系统分中占比 10%）
 - b) 实现抢答器的复核功能：可以查验每位选手在本次比赛中每一题的得分。（系统分中占比 10%）

任务三、汽车尾灯控制电路

此项目内容相对简单，因此满分为 80 分（组队不超过 2 人，需要完成所有设计内容，系统分 60，报告和演示分各 10 分）

任务和要求：

（1）汽车具有行车灯、刹车灯和左右转向灯。汽车左右转向灯各具有三个尾灯，共计六个。设计两个控制开关，分别代表汽车的前进、左转灯亮、右转灯亮、应急灯亮（左转和右转灯同时闪烁）、踩下刹车、停车六个状态；

（2）系统运行如下：

汽车正常前进时，行车灯常亮；

汽车右转时，右转向灯三个灯自左向右顺序循环点亮；

汽车左转时，左转向灯自右向左顺序循环点亮；

汽车应急灯亮时，右转向灯三个灯自左向右顺序循环点亮，左转向灯三个灯自右向左顺序循环点亮；

汽车踩下刹车时，停车灯全部随时钟闪烁（此时行车灯应保持原有状态）；

汽车处于停车状态时，代表停车灯的 LED 常亮；

要求：

（1）添加译码器和七段显示数码管，用于显示汽车正常前进、左转、右转、应急灯亮、刹车、停车，对应七段数码管的显示分别为：d、l、r、e、b、p； **(25)**

（2）添加蜂鸣器，用于在转向和应急灯亮时，发出示警声音。 **(10)**

（3）应允许多种有效的状态同时存在，例如停车时应急灯亮。其中行车应急灯亮的优先级应大于左转和右转。 **(10)**

（4）电路应检测到异常的输入状态（例如，正常前进和停车状态同时存在），并在数码管上显示“error”字样，所有 LED 灯熄灭。 **(15)**

任务四、智能压力锅控制电路

任务及要求：

智能压力锅控制电路支持以下功能：1) 四种不同种类的炖煮功能 2) 安全功能 3) 自动预约及提醒。

智能压力锅在上电后正常情况下将遍历以下几种状态：

用户设置炖煮选项->用户选择启动->系统检测锅盖是否密封->锅盖密封后系统开启炖煮功能，完成锁盖，进行炖煮倒计时->炖煮阶段，系统根据设置进行不同热力、压力的控制，开启倒计时，保持锁盖状态->倒计时到期后蜂鸣器发声提醒，进入保温状态->系统同时进入排气阶段，系统自动排气，用户也可选择在该阶段进行手动多次排气)->系统检测锅内气压，气压符合要求后，解除锁盖

1. 实现上述基本功能 **（系统分中占比 15%）**
 - 1) 用户设置炖煮模式
 - 2) 关盖检测
 - 3) 炖煮倒计时
 - 4) 自动保温
 - 5) 排气
 - 6) 解锁
2. 过程提示功能（以显示设备提示）**（系统分中占比 15%）**
 - 1) 炖煮模式的显示或当前模式下压力、火力的状态
 - 2) 在完成设置及炖煮倒计时开启之前的锅盖检测阶段，若锅盖未锁紧，则在数码管上提示
 - 3) 炖煮剩余时间
 - 4) 保温状态指示灯
3. 过程提示功能（以声音设备提示, Minisys 使用蜂鸣器，EGO1 使用音频接口）**（系统分中占比 10%）**
 - 1) 用户操作按键时，发出按键音。
 - 2) 开启炖煮时，短鸣以作提醒。（与按键音频率不同以作区别）
 - 3) 完成炖煮功能后，长鸣+短鸣配合以做提醒。
4. 安全检测功能 **（系统分中占比 15%）**
 - 1) 压力锅开启炖煮前对锅盖是否锁紧进行检测，如果锅盖未锁紧，蜂鸣器长鸣提醒并暂停进入下一阶段，直至锅盖锁紧为止。
 - 2) 炖煮阶段不允许开盖或排气操作，如果发生此类操作，蜂鸣器长鸣提醒，如果提醒超过 5 秒后仍然有开盖或排气操作，自动断电。
5. 重置按钮：在系统进入炖煮之前如果要重新设置，按下重置按钮后可以重新进行设置。
取消按钮：在系统炖煮过程中，如果用户按下取消按钮，则立即停止加热，进入排气阶段，不自动保温。如在保温阶段按下，退出保温模式。（可与重置按钮合并为同一个按钮）
（系统分中占比 5%）

(可选项)
 - 1) 实现系统对手动排气的支持。当系统处在排气状态时，若用户开始手动排气，则自动停止加热和取消当前任务，但不解锁锅盖。当压力下降到符合要求后自动解除锁盖。可以用计时器实现模拟压力变化后到开盖的剩余时间。**（系统分中占比 10%）**

2) 实现自动预约功能（系统分中占比 10%）

- a) 支持手动设置预约时间，设置从当前时间开始 x 小时 y 分钟（考虑到测试情况，真实时间请设置为 x 分 x 秒）后进入炖煮功能。
- b) 在定时器到期时，在指定时间开启指定任务对应的炖煮功能。
- c) 处于预约后倒计时状态时，定时指示灯亮，数码管显示距离炖煮阶段的剩余时长。
- d) 如在预约状态下按下取消按钮，则取消当前预约。