

CS207 Digital Logic

PROJECT REPORT A Real Car

- 小组成员：张天悦（学号：12112908）、罗嘉诚（学号：12112910）
- 完成日期：2023 年 01 月 08 日

1 项目开发计划

1.1 小组选题

在进行项目选题时，我们非常慎重地比较了两个选题 **A Real Car** 以及 **Self-service Washing Machine**。

我们在选组选题时主要遵循了 **NABCD** 原则（即 Need 需求、Approach 实现、Benefits 效益、Competitors / Companion 竞争者 / 同伴、Delivery 推广）进行需求分析。

基于小组实际，选题时我们认为前者 **A Real Car** 相较于后者 **Self-service Washing Machine**，有如下优势，更加适合本小组开展工作：

- Need 需求：2022 年秋季学期，**数字逻辑**课程的期末项目，需要高效高质量地完成两个指定项目（**A Real Car** 或者 **Self-service Washing Machine**）中的一个。
- Approach 实现：小车项目具有较为完善的测试环境，并且通过 **UART 模块和相关模拟器**，可通过应用程序 **DriveCar.exe** 显示项目的**实际效果**，可以很直观地显示项目效果，很有意思。
- Benefits 效益：小车项目简洁实用，更加**贴近生活**，功能直接了然，容易理解，能让小组成员快速上手，**进行高效率工作**。这也为更好地完善小车项目留出充足的时间，获得**更高的分数**。
- Competitors / Companion 竞争者 / 同伴：根据前期了解，在选择项目时选择 **A Real Car** 项目的小组**更多**，若尝试选择人数较多的项目，便于组间的**交流和学习**，也能在期末演示中看到更多优质项目。这能更好的**提高自己的能力**。
- Delivery 推广：我们的项目在提交后，就在 **GitHub** 中开源了，由于小车项目有较为完善的测试环境，可以让**更多的朋友**看到我们的项目，并且**便于测试**，能更好的发现项目中的不足。

根据以上分析，我们绘制了两个项目（小车项目 **A Real Car**、洗衣机项目 **Self-service Washing Machine**）选题对比的雷达图，以此为依据最终确定小组项目选题。

| 选题对比 | 最大值 | 小车项目 | | 洗衣机项目 |
|------------------------------------|---------|------------|------------------------------|-------|
| | Maximum | A Real Car | Self-service Washing Machine | |
| Need (需求) | 10 | 9 | | 8 |
| Approach (实现) | 10 | 9 | | 7 |
| Benefits (效益) | 10 | 10 | | 9 |
| Competitors / Companion (竞争者 / 同伴) | 10 | 9 | | 5 |
| Delivery (推广) | 10 | 8 | | 8 |



基于以上分析，我们小组慎重地选择了 **A Real Car** 作为 2022 年 秋季学期 **数字逻辑** 课程的期末项目。

1.2 成员分工

在筹建项目小组时，我们希望小组人数较少，这能很方便地进行项目同步协作，同时也能避免摸鱼摆烂现象的发生。在同步协作方法上，我们小组主要通过 **GitHub** 中的相关仓库进行项目同步，非常方便高效。

同时，由于参与开发的小组成员较少，每位小组成员的工作压力都较大，需要完成相当数量的工作。所以更加需要科学安排每位小组成员的任务，高效率、高质量地完成本次项目。

在考虑个人贡献分配时，我们兼顾效率和公平，从如下 5 个方面，对每位小组成员在团队中的贡献进行衡量：

- 工作数量（成员在团队项目中所投入的精力）
- 工作质量（避免低效拖沓，最重要的是代码是否能正常运行，并且做到 **Bug Free**）
- 工作参考价值（工作成果对于整个团队项目进度的推进程度、对于他人是否积极提供帮助互相进步等）
- 工作投入程度（成员在项目中的用心程度和态度）
- 其他特别贡献（对整个团队有特殊贡献的部分）

根据以上原则，兼顾效率和公平，小组成员达成一致，最终的项目贡献分配比为：

| 小组成员 | 贡献比 | 评价 |
|--------------------|-----|--|
| 张天悦 (学号: 12112908) | 50% | 高效高质量地完成所有既定工作，并且工作对团队有重要参考价值，工作态度和投入程度佳，在实现项目 VGA 功能 (Bonus) 对项目有特别贡献。 |
| 罗嘉诚 (学号: 12112910) | 50% | 高效高质量地完成所有既定工作，并且工作对团队有重要参考价值，工作态度和投入程度佳，在实现项目 Auto Driving 功能 (Bonus) 对项目有特别贡献。 |

具体成员分工如下：

| 小组成员 | 具体分工 |
|--------------------|---|
| 张天悦 (学号: 12112908) | <ul style="list-style-type: none">① 全局状态控制 (Global State) 20%② 手动挡位 (Manual Driving) 离合、刹车、油门、里程表控制 30%③ VGA 显示 (Bonus) 20%④ 前期设计、资料收集、项目测试、报告写作、视频录制等 |
| 罗嘉诚 (学号: 12112910) | <ul style="list-style-type: none">① 手动挡位 (Manual Driving) 倒挡、左转、右转、UART 连接 20%② 半自动挡位 (Semi-Auto Driving) 30%③ 全自动挡位 (Auto Driving, Bonus) 20%④ 前期设计、资料收集、项目测试、报告写作、视频录制等 |

1.3 执行记录

我们以项目进行过程中实现的**重要功能**、完成的**重要事件**节点为单位，项目的执行记录，汇总如下：

| 时间 | 执行人 | 事件 |
|-------------------------------------|---------|---|
| 2022.11.11 | 罗嘉诚、张天悦 | 项目组队 |
| 2022.11.16 2022 Fall 数字逻辑教学团队 | | 项目发布 |
| 2022.11.17 张天悦 | | 填写项目组队在线表格 (确认组队) |
| 2022.11.18 罗嘉诚、张天悦 | | 第 1 次 Lab 课讨论 (EGO1 开发板领取、讨论课程项目选题问题、后续大致时间安排) |
| | | 第 2 次 Lab 课讨论 |
| 2022.11.25 罗嘉诚、张天悦 | | (确定项目选题为: A Real Car , 规划中期答辩前需要完成内容: 全局状态控制 (Global State)、手动挡位 (Manual Driving)) |
| 2022.11.27 张天悦 | | 完成全局状态控制 (Global State) 20% 模块的 Verilog 代码编写、仿真 |
| 2022.11.28 张天悦 | | 完成全局状态控制 (Global State) 20% 模块的上板测试，功能正常 |
| 2022.11.29 罗嘉诚 | | 明确 UART 连接的方法，实现一些简单测试功能、能实现与应用程序交互 |
| 2022.11.30 罗嘉诚 | | 完成左转、右转相关功能的 Verilog 代码编写、仿真 |
| 2022.11.31 张天悦 | | 完成离合、刹车、油门相关功能的 Verilog 代码编写、仿真 |
| 2022.12.02 罗嘉诚、张天悦 | | 第 3 次 Lab 课讨论 (项目进度汇总、项目整合后进行上板测试，功能正常) |
| 2022.12.04 张天悦 | | 完成里程表相关功能的 Verilog 代码编写、仿真 |
| 2022.12.05 张天悦 | | 完成里程表相关功能的上板测试，功能正常 |
| 2022.12.08 罗嘉诚 | | 完成全局状态控制 (Global State)、手动挡位 (Manual Driving) 两部分进行功能整合 |
| 2022.12.13 2022 Fall 数字逻辑教学团队 | | 更改项目期中答辩形式为 视频录制 ，对于周五 Lab 课小组 DDL 提前 |
| 2022.12.14 罗嘉诚、张天悦 | | 明确中期答辩形式为 展示 40% 的上板功能，进行上板功能测试，测试正常 |
| 2022.12.15 罗嘉诚、张天悦 | | 拍摄、剪辑中期答辩演示视频，并如期提交中期答辩相关材料 |

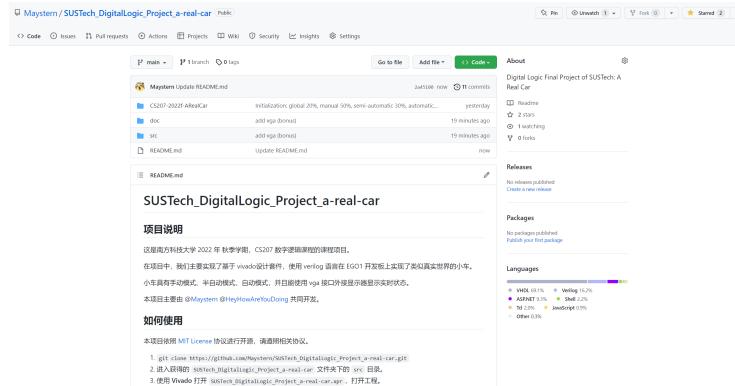
(续表)

| 时间 | 执行人 | 事件 |
|------------|-----------------------|---|
| 2022.12.16 | 罗嘉诚、张天悦、 数字逻辑教学团队 | 第 5 次 Lab 课中期答辩 (向王薇老师进行项目中期答辩，被提出一些重要的问题和建议) |
| 2022.12.20 | 罗嘉诚 | 针对中期答辩中出现的问题，修改完善代码，进行上板功能测试，测试正常 |
| 2022.12.23 | 2022 Fall 数字逻辑教学团队 | 中期答辩成绩出炉：5 / 5 |
| 2022.12.24 | 罗嘉诚 | 完成半自动挡位 (Semi-Auto Driving) 30% 的 Verilog 代码编写，仿真 |
| 2022.12.25 | 罗嘉诚 | 完成半自动挡位 (Semi-Auto Driving) 30% 的上板测试，功能正常 |
| 2022.12.26 | 2022 Fall 数字逻辑教学团队 | 通知项目延期约 1 周，更改最终项目展示形式为视频录制、报告撰写 |
| 2022.12.29 | 张天悦 | 完成 VGA 显示 (Bonus) 20% 的 Verilog 代码编写，仿真 |
| 2022.12.30 | 张天悦 | 完成 VGA 显示 (Bonus) 20% 的上板测试，功能正常 |
| 2022.12.31 | 罗嘉诚 | 完成全自动挡位 (Auto Driving, Bonus) 20% 的 Verilog 代码编写，仿真 |
| 2023.01.01 | 罗嘉诚 | 完成全自动挡位 (Auto Driving, Bonus) 20% 的上板测试，功能正常 |
| 2023.01.02 | 罗嘉诚 | 当前已经完成项目部分（全局状态控制 (Global State) 20%、 手动挡位 (Manual Driving) 50%、半自动挡位 (Semi-Auto Driving) 30%、 全自动挡位 (Auto Driving, Bonus) 20%）整合后进行上板测试， 所有功能均正常 |
| 2023.01.03 | 张天悦 | 项目所有部分（全局状态控制 (Global State) 20%、 手动挡位 (Manual Driving) 50%、半自动挡位 (Semi-Auto Driving) 30%、 全自动挡位 (Auto Driving, Bonus) 20%、VGA 显示 (Bonus) 20%） 整合后进行最终上板测试，所有功能均正常 |
| 2023.01.04 | 罗嘉诚、张天悦 | 完成项目报告并汇总排版 |
| 2023.01.05 | 罗嘉诚、张天悦 | 拍摄项目视频并剪辑 |
| 2023.01.07 | 罗嘉诚、张天悦 | 检查项目所需提交文件（报告、代码、视频）并审核 |
| 2023.01.08 | 罗嘉诚 | 在 sakai 中提交项目所需提交文件（报告、代码、视频） |

1.4 开源

本项目已经基于 [MIT License](#) 协议在 [GitHub](#) 上开源了，您可以进入项目仓库查看我们的项目。

项目仓库地址：https://github.com/Maystern/SUSTech_DigitalLogic_Project_a-real-car。



使用方法：

1. `git clone https://github.com/Maystern/SUSTech_DigitalLogic_Project_a-real-car.git`
2. 进入获得的 `SUSTech_DigitalLogic_Project_a-real-car` 文件夹下的 `src` 目录。
3. 使用 Vivado 打开 `SUSTech_DigitalLogic_Project_a-real-car.xpr`，打开项目工程。

2 使用文档与说明

2.1 开发板与功能标注

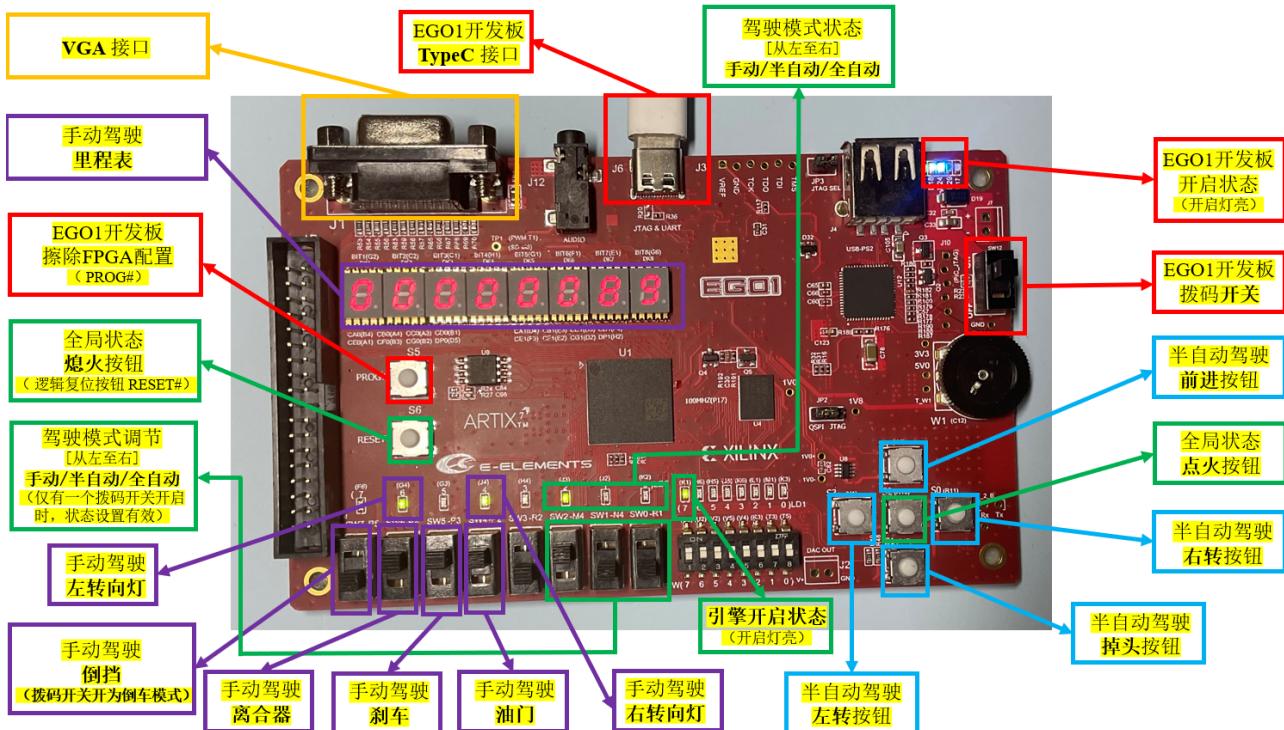
EGO1 是依元素科技基于 Xilinx Artix-7 FPGA 研发的便携式数模混合基础教学平台。

EGO1 配备的 FPGA (XC7A35T-1CSG324C) 具有大容量高性能等特点，能实现较复杂的数字逻辑设计；在 FPGA 内可以构建 MicroBlaze 处理器系统，可进行 SoC 设计。

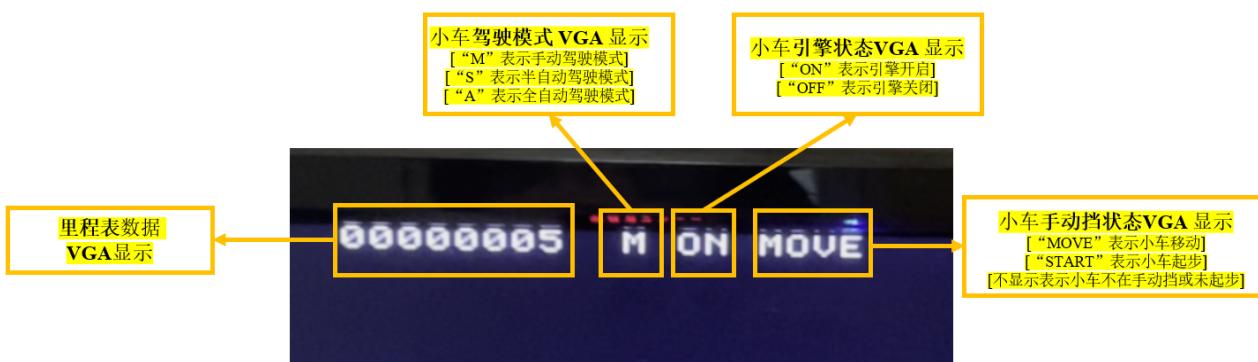
该平台拥有丰富的外设，以及灵活的通用扩展接口。

如需查阅 EGO1 开发板用户手册，请访问用户手册：https://e-elements.readthedocs.io/zh/ego1_v2.2。

本项目使用 EGO1 开发板，系统电路在开发板上实际使用的输入输出设备，在下图中给出了标注：



使用 VGA 外接显示器时显示的内容，在下图中给出了标注：



2.2 使用说明

上图中，我们使用红色线框图表示 **EGO1** 开发板启动和连接所需的输入输出设备及相关说明。

- **TypeC接口**：**EGO1** 提供的该 typeC 接口功能为 UART 和 JTAG，该接口可以为板卡供电。板卡上提供电压转换电路将 TypeC 输入的 5V 电压转换为板卡上各类芯片需要的工作电压。上电成功后 **开启状态** LED灯点亮。
- **开启状态**：该 LED 灯的亮灭表示开发板是否开启，对应引脚 D18。
- **拨码开关**：该拨码开关控制 **EGO1** 开发板的启动和关闭，当拨至 **ON** 时，开发板将启动，当拨至 **OFF** 时，开发板将关闭。
- **擦除FPGA配置**：即 **PROG#**，是专用按键，按下后用来擦除FPGA配置。

上图中，我们使用绿色线框图表示小车系统进行**全局设置**时，所需的相关输入输出设备及相关说明。

- **点火按钮**：该按钮控制小车点火，若当前小车引擎熄火，则需要长按该按钮 **1s**，使得小车重新启动，对应引脚 R15。
- **熄火按钮**：该按钮控制小车熄火，若当前小车引擎打开，若按下该按钮，小车立即熄火，对应引脚 P15。
- **引擎开启状态**：该 LED 灯显示小车引擎是否开启，若当前小车熄火，LED灯不亮；若小车引擎开启，LED亮，对应引脚 K1。
- **驾驶模式调节**：这一组 3 个拨码开关，用来切换小车的模式。拨码开关从左至右，依次表示是否开启手动模式、是否开启半自动模式、是否开启全自动模式。当且仅当其中一个拨码开关打开时，将进入对应的驾驶模式。手动模式、半自动模式、全自动模式从左至右依次对应引脚 M4、N4、R1。
- **驾驶模式状态**：这一组 3 个 LED 灯，用来显示小车当前所在的驾驶模式。LED 灯从左至右，依次对应手动模式是否开启、半自动模式是否开启、全自动模式是否开启。当对应 LED 亮时，表明进入其中的对应驾驶模式。特别地，当 3 个 LED 灯均不亮时，小车未进入任何一种驾驶模式，原地静止。手动模式是否开启、半自动模式是否开启、全自动模式是否开启从左至右依次对应引脚 J3、J2、K2。

上图中，我们使用紫色线框图表示小车系统进行**手动驾驶模式**时，所需的相关输入输出设备及相关说明。

- **左转向灯**：该 LED 灯显示小车进入手动驾驶模式后的左转状态。若小车所处其他模式，该 LED 不亮；当小车进入手动驾驶模式，并且处在 **未启动** 状态时，该 LED 灯长亮，处在 **启动中** 状态时，该 LED 灯不亮，处在 **移动中** 并且执行左转向时，该 LED 灯闪亮。对应引脚 G4。
- **右转向灯**：该 LED 灯显示小车进入手动驾驶模式后的右转状态。若小车所处其他模式，该 LED 不亮；当小车进入手动驾驶模式，并且处在 **未启动** 状态时，该 LED 灯长亮，处在 **启动中** 状态时，该 LED 灯不亮，处在 **移动中** 并且执行右转向时，该 LED 灯闪亮。对应引脚 J4。
- **倒挡**：该拨码开关用来设置小车进入手动驾驶模式后，是否进入倒车状态。若该拨码开关关闭，小车受到 **离合器**、**刹车**、**油门** 的共同作用向前移动；若该拨码开关打开，小车受到 **离合器**、**刹车**、**油门** 的共同作用向后移动。对应引脚 P5。
- **离合器**：该拨码开关用来设置小车进入手动驾驶模式后的离合器状态。若该拨码开关关闭，小车离合器不踩下；若该拨码开关打开，小车离合器踩下。小车受到 **离合器**、**刹车**、**油门** 的共同作用移动。对应引脚 P4。
- **刹车**：该拨码开关用来设置小车进入手动驾驶模式后的刹车状态。若该拨码开关关闭，小车刹车不踩下；若该拨码开关打开，小车刹车踩下。小车受到 **离合器**、**刹车**、**油门** 的共同作用移动。对应引脚 P3。
- **油门**：该拨码开关用来设置小车进入手动驾驶模式后的油门状态。若该拨码开关关闭，小车油门不踩下；若该拨码开关打开，小车油门踩下。小车受到 **离合器**、**刹车**、**油门** 的共同作用移动。对应引脚 P2。
- **里程表**：里程表由 8 个共阴极数码管构成，用来显示当前小车手动驾驶模式时的运行里程。对应引脚较为复杂，需要使用到的引脚有：B4、A4、A3、B1、A1、B3、B2、D5、D4、E3、D3、F4、F3、E2、

D2、H2（数码管的段选信号），G2、C2、C1、H1、G1、H1、G1、F1、E1、G6（数码管的片选信号）。

上图中，我们使用**蓝色**线框图表示小车系统进行**半自动驾驶模式**时，所需的相关输入输出设备及相关说明。

- **前进按钮**：该按钮用来接收小车进入岔路口后是否通过前进方式通过岔路口。若该按钮按下，表示小车将以前进通过岔路口。对应引脚 U4。
- **左转按钮**：该按钮用来接收小车进入岔路口后是否通过左转方式通过岔路口。若该按钮按下，表示小车将左转通过岔路口。对应引脚 V1。
- **右转按钮**：该按钮用来接收小车进入岔路口后是否通过右转方式通过岔路口。若该按钮按下，表示小车将右转通过岔路口。对应引脚 R11。
- **掉头按钮**：该按钮用来接收小车进入岔路口后是否通过掉头方式通过岔路口。若该按钮按下，表示小车将掉头通过岔路口。对应引脚 R17。

上图中，我们使用**橙色**线框图表示小车系统能**外接显示器**进行输出时，所需的相关输入输出设备及相关说明。

- **VGA接口**：该接口可以使用连接线与外接显示器相连，用来显示当前小车运行的状态（包括运行里程、运行模式），对应引脚 J1。

2.3 管脚约束

在项目中，我们使用了 EGO1 开发板的如下引脚，并将对应功能以表格形式简要列出。

您可以在项目的约束文件 **cons.xdc** 中找到如下的约束信息（名称和引脚编号）：

| 名称 | 原理图标号 | FPGA IO PIN | 功能简介 |
|-----------------------|------------|-------------|--------------|
| rx | UART_TX | N5 | UART 模块与程序交互 |
| tx | UART_RX | T4 | UART 模块与程序交互 |
| sys_clk | SYS_CLK | P7 | 时钟信号 |
| stop_engine_signal | FPGA_RESET | P15 | 熄火键 / 复位键 |
| enable_auto_signal | SW_0 | R1 | 自动模式选择 |
| enable_semauto_signal | SW_1 | N4 | 半自动模式选择 |
| enable_manual_signal | SW_2 | M4 | 手动模式选择 |
| throttle_signal | SW_4 | P2 | 油门 |
| brake_signal | SW_5 | P3 | 刹车 |
| clutch_signal | SW_6 | P4 | 离合 |
| reverse_signal | SW_7 | P5 | 倒车挡 |
| turn_right_signal | PB0 | R11 | 右转 |
| reverse_signal_button | PB1 | R17 | 掉头 |
| start_engine_signal | PB2 | R15 | 点火键 |
| turn_left_signal | PB3 | V1 | 左转 |
| go_straight_signal | PB4 | U4 | 直行 |
| auto_state | LED2_0 | K2 | 全自动模式开启状态 |
| semauto_state | LED2_1 | J2 | 半自动模式开启状态 |
| manual_state | LED2_2 | J3 | 手动模式开启状态 |
| turn_right | LED2_4 | J4 | 右转向灯 |

(续表)

| 名称 | 原理图标号 | FPGA IO PIN | 功能简介 |
|--------------|--|----------------------------------|-----------|
| turn_left | LED2_6 | G4 | 左转向灯 |
| engine_power | LED1_7 | K1 | 引擎开启状态 |
| seg_en[7: 0] | DN0_K1, ..., DN0_K4 DN1_K1, ..., DN1_K4 | G2, C2, C1, H1 G1, F1, E1, G6 | 里程表片选信号 |
| seg0[7: 0] | LED1_CA, ..., LED1_CG, LED1_DP | D4, E3, D3, F4 F3, E3, D3, H2 | 里程表低位段选信号 |
| seg1[7: 0] | LED0_CA, ..., LED0_CG, LED0_DP | B4, A4, A3, B1 A1, B3, B2, D5 | 里程表高位段选信号 |
| red[0: 3] | VGA_R0, ..., VGA_R3 | F5, C6, C5, B7 | VGA 红色信号 |
| green[0: 3] | VGA_G0, ..., VGA_G3 | B6, A6, A5, D8 | VGA 绿色信号 |
| blue[0: 3] | VGA_B0, ..., VGA_B3 | C7, E6, E5, E7 | VGA 蓝色信号 |
| hs | VGA_HSYNC | D7 | VGA 行同步信号 |
| vs | V-SYNC | C4 | VGA 场同步信号 |

2.4 小车机制

本项目中的小车运行机制，严格参照课程项目 **A Real Car** 说明文档 [DL_2022F_project_introduction.pdf](#) 中的相关内容进行实现。

本部分内容，将简要介绍本项目中小车的相关机制，具体相关细节可参考：[项目说明文档](#)。

2.4.1 全局状态

在全局状态中，小车有 **power-on** 和 **power-off** 两种引擎状态，分别代表引擎启动和引擎关闭。

- 按下点火键 **1s** 后，小车将从 **power-off** 状态进入 **power-on** 状态，引擎启动。
- 按下熄火键后，小车将从 **power-on** 状态进入 **power-off** 状态，引擎关闭。
- 引擎启动时，**引擎开启状态** LED 灯长亮；当引擎关闭时，**引擎开启状态** LED 灯不亮。

在全局状态中，小车有 **Manual driving**、**Semi-auto driving**、**Auto driving** 三种驾驶模式，分别代表手动驾驶模式、半自动驾驶模式、全自动驾驶模式。

- 拨码开关（对应引脚从左到右依次为 M4, N4, R1）状态为 **100** 时，小车切换进入手动驾驶模式。
- 拨码开关（对应引脚从左到右依次为 M4, N4, R1）状态为 **010** 时，小车切换进入半自动驾驶模式。
- 拨码开关（对应引脚从左到右依次为 M4, N4, R1）状态为 **001** 时，小车切换进入全自动驾驶模式。
- 小车引擎关闭，或者拨码开关的状态不为 **3 bit 独热码** 时，小车不进入任何驾驶模式。

2.4.2 手动驾驶模式

在手动驾驶模式中，小车有三种状态 **not-starting**、**starting**、**moving** 分别表示未起步状态、起步状态、移动状态。

- 当小车进入手动驾驶模式时，初始状态为未起步状态。
- 小车向 UART 模块中输出向前或者向后移动信号，当且仅当小车处于移动状态。

小车的移动由 **倒车挡**、**离合器**、**刹车**、**油门**、**左转按钮**、**右转按钮** 共同决定，具体机制如下：

1. 当小车处于未起步状态时,
 - 若开启油门、关闭离合，小车引擎关闭。
 - 若开启油门、关闭刹车、开启离合，小车进入起步状态。
 - 左转向灯和右转向灯长亮，小车静止。
2. 当小车处于起步状态时,
 - 若开启刹车，小车进入未起步状态。
 - 若开启油门、关闭刹车、关闭离合，小车进入移动状态。
 - 若仅左转按钮按下，小车将原地左转、左转向灯闪亮
 - 若仅右转按钮按下，小车将原地右转、右转向灯闪亮
 - 若左转按钮、右转按钮均按下或均不按下，小车静止、左转向灯和右转向灯均不亮。
3. 当小车进入移动状态时,
 - 若打开离合或者关闭油门，小车进入起步状态。
 - 若打开刹车，小车进入未起步状态。
 - 若关闭离合并且改变倒车档拨码开关状态，小车引擎关闭。
 - 若仅左转按钮按下，小车将向左转向行驶、左转向灯闪亮
 - 若仅右转按钮按下，小车将向右转向行驶、右转向灯闪亮
 - 若左转按钮、右转按钮均按下或均不按下，小车直线行驶、左转向灯和右转向灯均不亮。
4. 小车具有刹车优先系统（BOS），当刹车和油门同时打开时，油门将失效。
5. 小车处于移动状态，倒车挡开关关闭，小车向前移动；倒车挡开关开启，小车向后移动。
6. 小车引擎关闭或者不处于手动驾驶模式，里程表不显示数据，并且重设为 0。
7. 小车引擎开启并且处于手动驾驶模式，并且处于移动状态，里程表匀速增加。

2.4.3 半自动驾驶模式

在半自动驾驶模式中，小车有三种状态 `moving`、`turning`、`wait`，分别表示移动状态、转向状态、等待指令状态。

- 当小车进入半自动驾驶模式时，初始状态为移动状态。

小车的状态主要由每个路口处处于的等待状态时，用户通过 `前进按钮`、`掉头按钮`、`右转按钮`、`左转按钮` 输入的命令决定，具体机制如下：

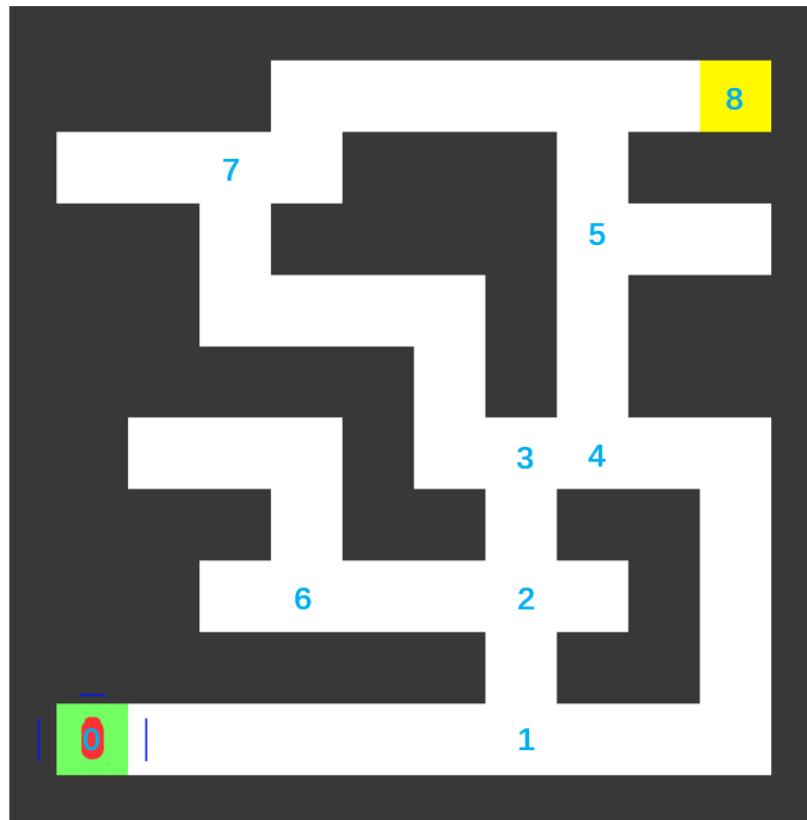
1. 当小车处于移动状态时,
 - 若小车检测到当前处于路口处，小车进入等待指令状态。
 - 若小车检测到当前不处于路口处，按照当前行驶状态行驶。
 - 若小车检测到以当前行驶状态无法继续行驶时，小车将会自动掉头，按照当前行驶状态继续行驶。
2. 当小车处于等待指令状态,
 - 若用户按下 `前进按钮`，小车进入移动状态。
 - 若用户按下 `掉头按钮`，小车进入（向后）转向状态。
 - 若用户按下 `左转按钮`，小车进入（向左）转向状态。
 - 若用户按下 `右转按钮`，小车进入（向右）转向状态。
 - 若用户不输入指令，小车继续处于等待指令状态。
3. 当小车处于转向状态,

- 小车将按既定方向进行转向，并且通过当前路口后，进入移动状态。

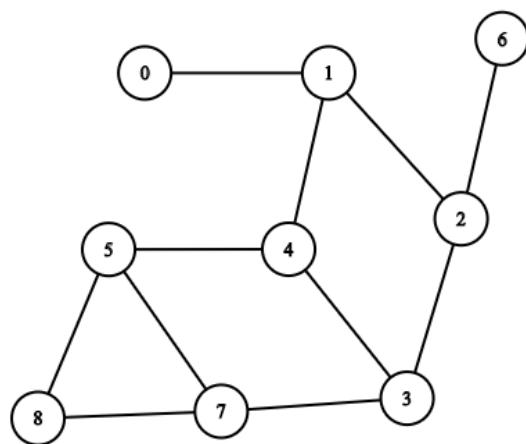
2.4.4 全自动驾驶模式

小车在全自动驾驶模式中，小车会自动驾驶，自行从当前位置开始寻找并前往目的地。

如果我们将迷宫的每个路口、起点与终点都看作图中的一个节点，路口与路口之间的唯一通道看作是图中节点间的边。如果我们能实现图的深度优先搜索 **DFS**，那么就能找到一条从起点到终点的路径。



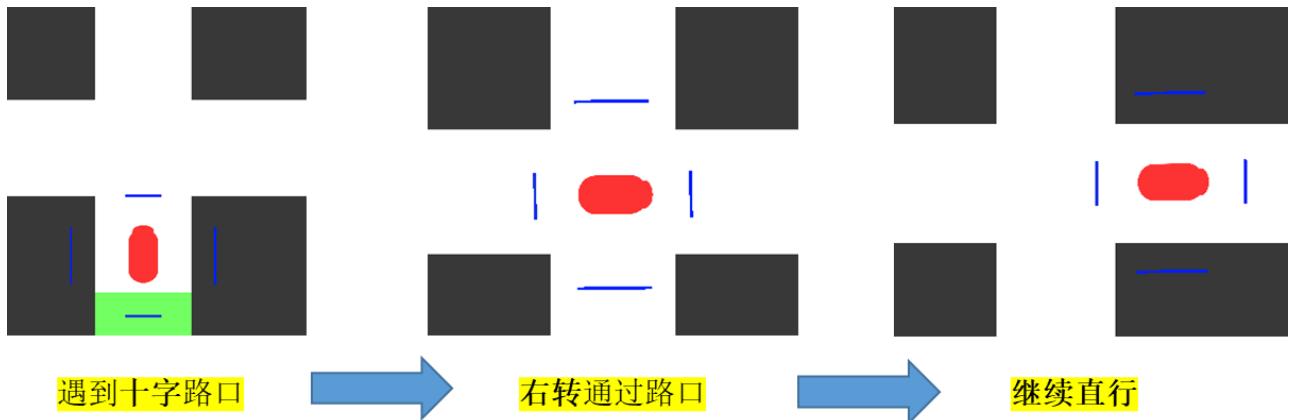
例如上面的迷宫，能抽象成如下的图，其中起点是 **0**，终点是 **8**。



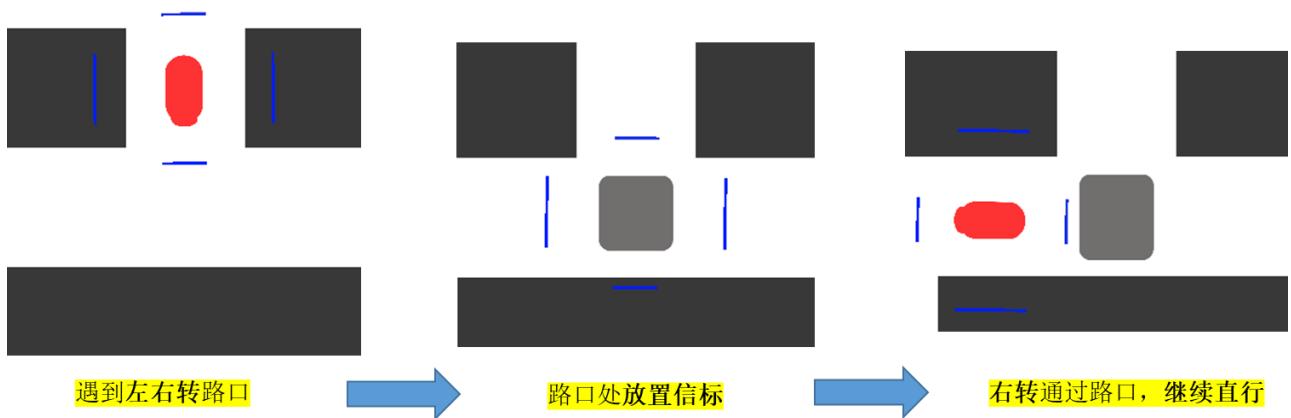
我们采用**右转优先**，即每次遇到路口处，若能右转则直接右转，其次直行，最后再左转。

除此之外，还需要使用信标（可以通过的墙）来记录当前路口是否被访问过，以判断图中的环。

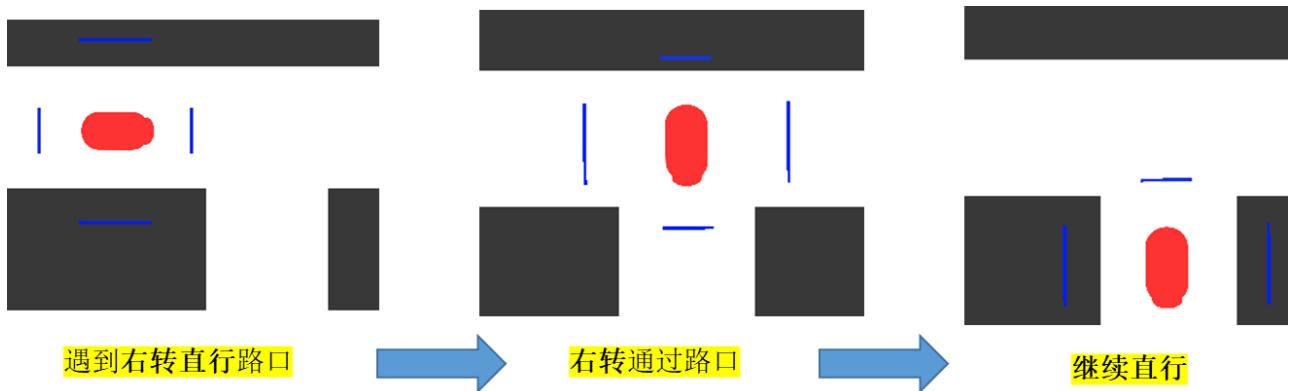
- 当遇到十字路口时，右转通过路口，不放置信标。



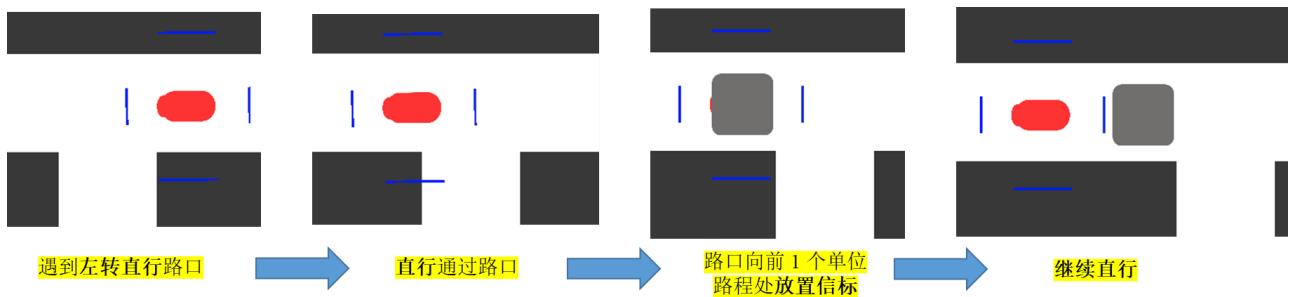
- 当遇到左右转路口时，在路口处放置信标，并右转通过路口。



- 当遇到右转直行路口时，右转通过路口，不放置信标。

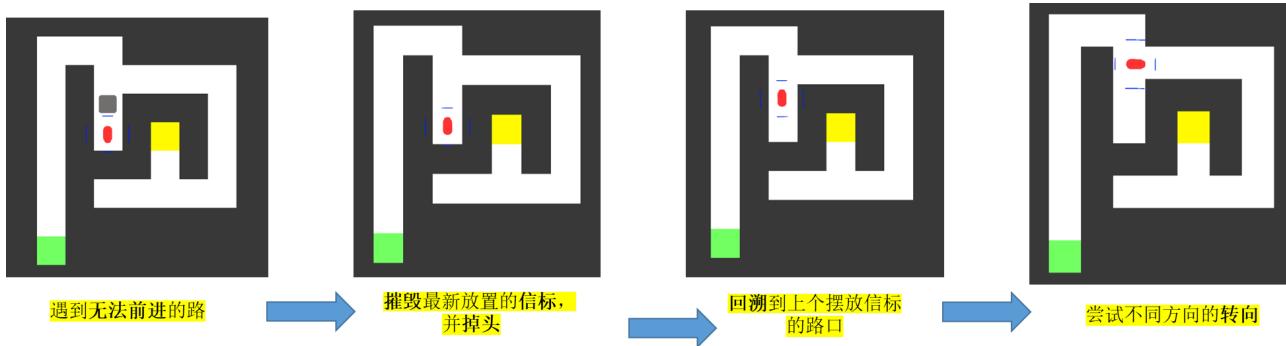


- 当遇到左转直行路口时，前进通过路口，并在路口向前 1 个单位路程处放置信标。



除此之外，当遇到无法前进的路时，需要摧毁最近的信标，进行回溯。

- 当无法前进时，摧毁最近的信标，并掉头（随后小车将回溯到上个路口，进行不同转向的尝试）。



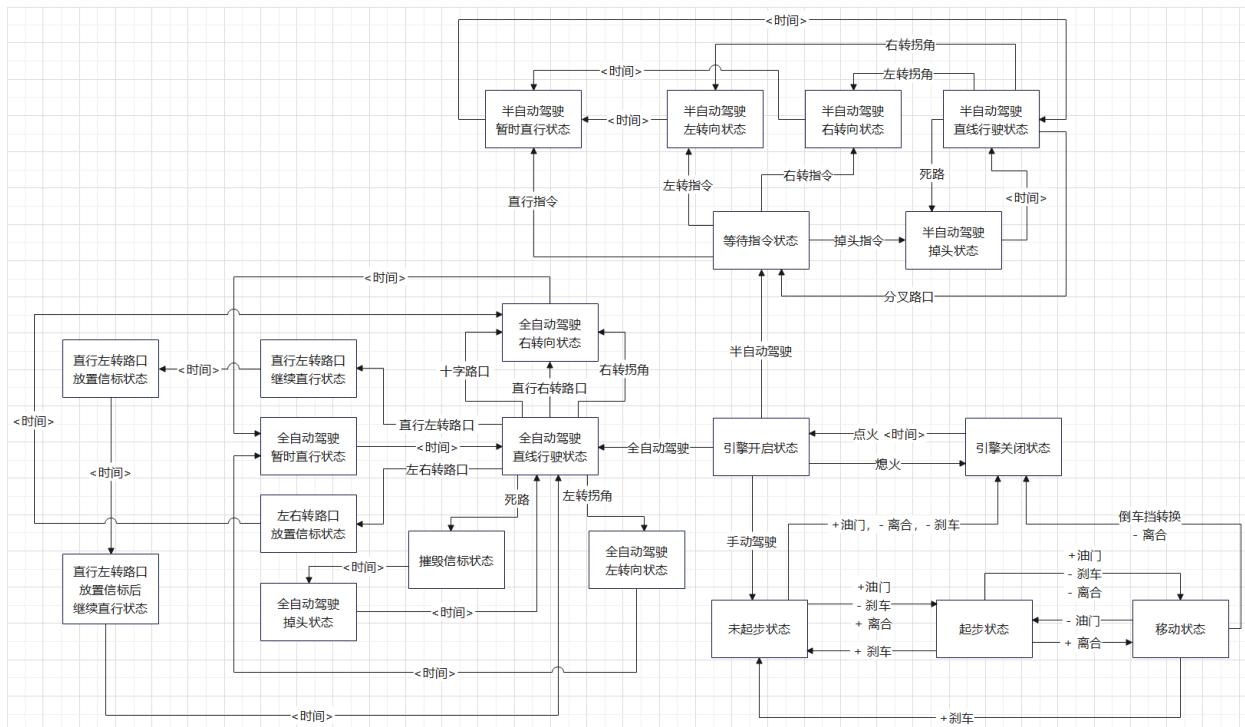
3 系统结构设计

本项目可以分为五个模块：全局设置模块、手动驾驶模块、半自动驾驶模块、全自动驾驶模块、VGA 模块。

其中 VGA 模块相对独立，进行实时显示。而其他四个模块中存在不同状态，依据电路的外部输入进行状态转换，并将电路相关信号进行输出，以控制模拟测试程序 **DriveCar.exe** 中小车的运动状态和 EGO1 开发板上相关输入输出设备。

3.1 状态流程图与模块工作机制

这是本项目的状态流程图，使用 Edrawmax 综合绘图软件 绘图：



3.2 电路结构框图

3.2.1 项目结构

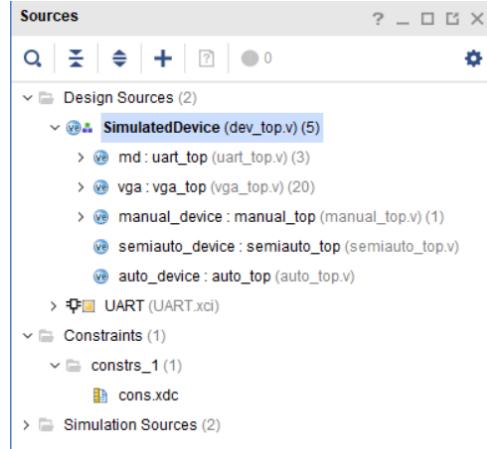
在我们的 **vivado** 工程中，顶层模块是 **dev_top** 模块，该模块主要实现小车各模块之间的切换，以及引擎开启关闭的探测并控制小车引擎。

子模块包括：

- uart_top** 模块，该模块主要用于实现 **UART** 连接，并与模拟测试程序 **DriveCar.exe** 交互。

- `vga_top` 模块，该模块主要用于实现外接显示器显示，显示小车当前运动状态。
- `manual_top` 模块，该模块主要用于实现小车的手动驾驶模式。
- `semiauto_top` 模块，该模块主要用于实现小车的半自动驾驶模式。
- `auto_top` 模块，该模块主要用于实现小车的全自动驾驶模式。

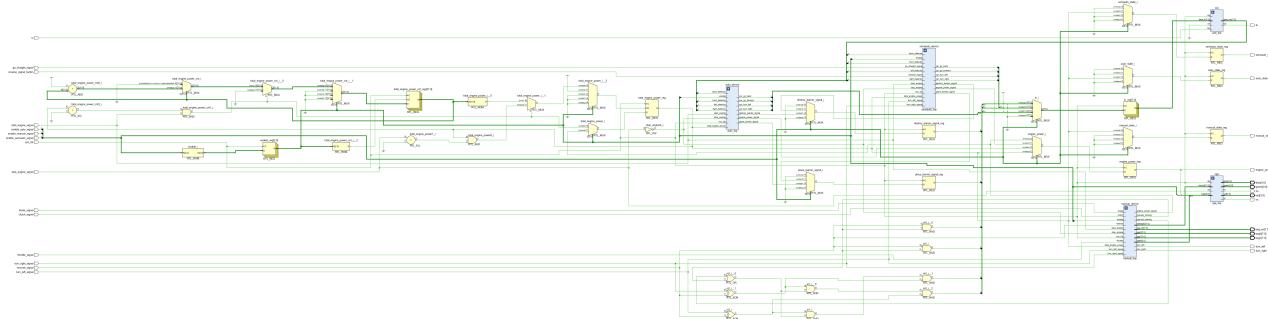
vivado 工程的项目结构图如下：



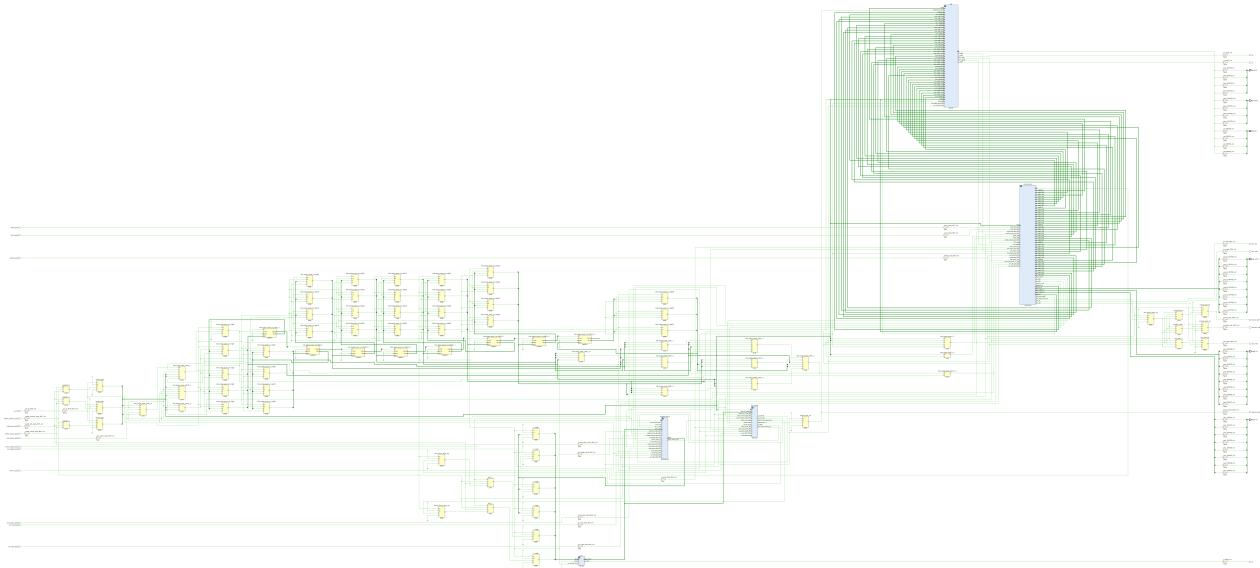
3.2.2 电路结构框图

我们使用 **vivado** 的 **RTL** 分析与综合后生成的电路图，展示顶层模块与各子模块、各子模块之间的关系。

- 这是使用 **RTL** 分析后生成的电路图。（图片清晰度足够高，可以按住 **Ctrl + 鼠标滚轮** 放大查看）



- 这是使用 **综合** 后生成的电路图。（图片清晰度足够高，可以按住 **Ctrl + 鼠标滚轮** 放大查看）



本项目A Real Car的顶层模块 `dev_top` 使用了 `uart_top`、`vga_top`、`manual_top`、`semiauto_top`、`auto_top` 五个子模块。

其中：

- `uart_top` 模块实现 **UART** 连接，并与模拟测试程序 **DriveCar.exe** 交互功能，使用顶层模块中的时钟信号、复位信号、数据输入、数据输出信号，并将处理后的结果段码信号、数据发送信号传递回顶层模块，以供其他子模块使用。
- `vga_top` 模块实现 **VGA** 显示小车运动状态，使用顶层模块中的时钟信号、复位信号、引擎状态、小车的模式与手动模式的状态拼接成的状态值、手动模式记录的公里数转换为十进制后的值，并将处理后的红色信号、绿色信号、蓝色信号、行同步信号、场同步信号传递回顶层模块，用于实现 **VGA** 显示。
- `manual_top` 模块实现小车的手动驾驶模式，使用顶层模块中的复位信号、时钟信号、关闭引擎信号、开启引擎信号、倒车档信号、离合信号、刹车信号、油门信号、左转向信号、右转向信号、引擎状态信号，并将处理后的新引擎状态信号、未起步信号、起步信号、移动信号、左转灯信号、右转灯信号、里程表信号、小车的模式与手动模式的状态拼接成的状态值传递回顶层模块，用于实现转向灯、里程表、引擎指示灯等功能，并将相关信号供其他子模块使用。
- `semiauto_top` 模块实现小车的半自动驾驶模式，使用顶层模块中的复位信号、时钟信号、关闭引擎信号、开启引擎信号、前探测器信号、后探测器信号、左探测性信号、右探测器信号、前进指令信号、右转指令信号、左转指令信号、掉头指令信号、引擎状态信号，并将处理后的左转向信号、右转向信号、移动信号、倒车信号、新引擎状态信号、摧毁信标信号、放置信标信号传递回顶层模块，用于实现半自动驾驶功能，并将相关信号供其他子模块使用。
- `auto_top` 模块实现小车的全自动驾驶模式，使用顶层模块中的复位信号、时钟信号、关闭引擎信号、开启引擎信号、前探测器信号、后探测器信号、左探测性信号、右探测器信号、引擎状态信号，并将处理后的左转向信号、右转向信号、移动信号、倒车信号、新引擎状态信号、摧毁信标信号、放置信标信号传递回顶层模块，用于实现全自动驾驶功能，并将相关信号供其他子模块使用。

3.2.3 各子模块功能、输入输出端口规格说明及结构图

3.2.3.1 各子模块功能

| 模块名称 | 功能 |
|--------------|---|
| uart_top | 实现 UART 连接，并与模拟测试程序 DriveCar.exe 交互 |
| vga_top | 实现外接显示器显示，显示小车当前运动状态 |
| manual_top | 实现小车的手动驾驶模式 |
| semiauto_top | 实现小车的半自动驾驶模式 |
| auto_top | 实现小车的全自动驾驶模式 |

3.2.3.2 输入输出端口规格说明

- `uart_top` 模块（顶层模块）

```
1 module SimulatedDevice (
2     input sys_clk, //系统时钟
3     input rx, // UART 模块与程序交互
4     output tx, // UART 模块与程序交互
5     input turn_left_signal, // 左转信号
6     input turn_right_signal, // 右转信号
7     input stop_engine_signal, // 熄火信号、复位信号
8     input start_engine_signal, // 点火信号
9     input reverse_signal, // 倒车挡信号
```

```

10    input clutch_signal, // 离合器信号
11    input brake_signal, // 刹车信号
12    input throttle_signal, // 油门信号
13    output reg engine_power, // 引擎状态指示信号
14    output turn_left, // 左转向灯信号
15    output turn_right, // 右转向灯信号
16    output [7: 0] seg1, // 里程表高位段选信号
17    output [7: 0] seg0, // 里程表低位段选信号
18    output [7: 0] seg_en, // 里程表片选信号
19    input go_straight_signal, // 直行信号
20    input reverse_signal_button, // 掉头信号
21    input enable_manual_signal, // 开启手动驾驶模式信号
22    input enable_semauto_signal, // 开启半自动驾驶信号
23    input enable_auto_signal, // 开启全自动驾驶信号
24    output reg manual_state, // 手动驾驶模式指示信号
25    output reg semiauto_state, // 半驾驶模式指示信号
26    output reg auto_state, // 全自动驾驶模式指示信号
27    output[3:0] red, // VGA 红色信号
28    output[3:0] green, // VGA 绿色信号
29    output[3:0] blue, // VGA 蓝色信号
30    output hs, // VGA 行同步信号
31    output vs // VGA 场同步信号
32 );
33 // ...
34 endmodule

```

- `vga_top` 模块（实现VGA显示功能的子模块）

```

1 module vga_top (
2     input clk, // 系统时钟
3     input rst, // 复位信号
4     input [31:0] record, // 手动模式记录的公里数转换为十进制后的值
5     input [6:0] state, // 小车的模式与手动模式的状态拼接成的状态值
6     output reg[3:0] red, // VGA 红色信号
7     output reg[3:0] green, // VGA 绿色信号
8     output reg[3:0] blue, // VGA 蓝色信号
9     output hs, // VGA 行同步信号
10    output vs // VGA 场同步信号
11 );
12 // ...
13 endmodule

```

- `manual_top` 模块（实现手动驾驶模式功能的子模块）

```

1 module manual_top(
2     input enable, // 复位信号
3     input sys_clk, // 系统时钟

```

```

4      input stop_engine, // 关闭引擎信号
5      input start_engine, // 开启引擎信号
6      input reverse, // 倒车挡信号
7      input clutch, // 离合器信号
8      input brake, // 刹车信号
9      input throttle, // 油门信号
10     input turn_left_signal, // 左转信号
11     input turn_right_signal, // 右转信号
12     output reg engine_power_signal, // 新引擎状态信号
13     output reg manual_not_starting, // 手动挡未起步信号
14     output reg manual_starting, // 手动挡起步信号
15     output reg manual_moving, // 手动挡移动信号
16     output reg turn_left, // 左转信号
17     output reg turn_right, // 右转信号
18     output [7: 0] seg1, // 里程表高位段选信号
19     output [7: 0] seg0, // 里程表低位段选信号
20     output [7: 0] seg_en, // 里程表片选信号
21     input total_engine_power, // 当前引擎状态信号
22     output [31:0] mileage, // 里程表数值信号
23     output reg[2:0] state // 手动模式的状态拼接成的状态值
24 );
25     // ...
26 endmodule

```

- `semiauto_top` 模块（实现半自动驾驶模式功能的子模块）

```

1 module semiauto_top(
2     input enable, // 复位信号
3     input sys_clk, // 系统时钟
4     input stop_engine, // 关闭引擎信号
5     input start_engine, // 开启引擎信号
6     output reg car_turn_right, // 小车右转信号
7     output reg car_turn_left, // 小车左转信号
8     output reg car_go_forward, // 小车前进信号
9     output reg car_go_back, // 小车后退信号
10    output reg engine_power_signal, // 新引擎状态信号
11    output reg destroy_barrier_signal, // 摧毁信标信号
12    output reg place_barrier_signal, // 放置信标信号
13    input front_detector, // 前探测器障碍物信号
14    input back_detector, // 后探测器障碍物信号
15    input left_detector, // 左探测器障碍物信号
16    input right_detector, // 右探测器障碍物信号
17    input go_straight_signal, // 直行命令信号
18    input turn_right_signal, // 右转命令信号
19    input turn_left_signal, // 左转命令信号
20    input reverse_signal, // 掉头命令信号
21    input total_engine_power // 当前引擎状态信号

```

```
22 );
23 // ...
24 endmodule
```

- [auto_top](#) 模块（实现全自动驾驶模式的子模块）

```
1 module auto_top(
2     input enable, // 复位信号
3     input sys_clk, // 系统时钟
4     input stop_engine, // 关闭引擎信号
5     input start_engine, // 开启引擎信号
6     output reg car_turn_right, // 小车右转信号
7     output reg car_turn_left, // 小车左转信号
8     output reg car_go_forward, // 小车前进信号
9     output reg car_go_back, // 小车后退信号
10    output reg engine_power_signal, // 新引擎状态信号
11    output reg destroy_barrier_signal, // 摧毁信标信号
12    output reg place_barrier_signal, // 放置信标信号
13    input front_detector, // 前探测器障碍物信号
14    input back_detector, // 后探测器障碍物信号
15    input left_detector, // 左探测器障碍物信号
16    input right_detector, // 右探测器障碍物信号
17    input total_engine_power // 当前引擎状态信号
18 );
19 // ...
20 endmodule
```

3.2.3.3 结构图

请见 [3.2.2 电路结构框图](#)，我们使用 vivado 的 RTL 分析和综合，分别生成相关的电路图。

如需下载和查看 PDF 版本的电路结构图，请访问：

- RTL 分析后生成的电路图：[RTL ANALYSIS Schematic.pdf](#)。
- 综合 分析后生成的电路图：[SYNTHESIS Schematic.pdf](#)。

4 开发过程中的经验总结及优化

- 张天悦（学号：12112908）

在本次项目中我学习到了很多，首先就是找到了设计与实现之间的平衡与互补。在本次项目之前我总是希望全局设计好项目的每一个细节，但在实际工作中这并不可能完成。这往往导致花费过多时间在前期思考上，最后在很多错误却要在实现中才能遇到，往往会影响整个设计。本次 **Project** 我们组边设计边实现，设计与实现形成互补，极大的提高了项目完成的效率。

再者，在统筹规划多个模块之间的综合实现的过程中，让我更深入的理解到了 **verilog** 编程中时间的概念：每个模块所有操作按照时钟的跳变沿为参照同时进行，而非其它编程语言的线性运行模式。由此理解不同信号之间的关系，从而思考不同模块的输入输出各个信号之间如何绑定才能更加正确高效。

此外，在本次作业完成过程中我认识到了 **verilog** 模块化编程的高效。刚开始做 **VGA** 功能时，为要实时控制较大区域中每个像素的显示而感到头疼。但经过思考发现通过提前在一个模块中设置 7×8 个像素大小的 10 个数字和 26 个字母对应的寄存器的值，然后再将此模块与 **VGA** 顶层模块的对应信号绑定可以大大减少编写 **VGA** 顶层模块时的工作量。

- 罗嘉诚（学号：12112910）

首先从项目开发进行的全局来看，首先就将整个项目考虑的事无巨细几乎是不可能的。所以我们小组从项目开始，就稳扎稳打，每完成一个功能就进行仿真和上板测试。项目的完成就好像搭积木一样，从简单的实现到逐渐完善趋于完美，一步步走来很有成就感。

其次，我认为 **verilog** 编程一个比较重要的技巧是明确当前时钟周期要干什么，下个时钟周期即要干什么，将较为整体的事情原子化、碎片化、状态化，便于硬件进行处理。如在项目中实现的小车转弯经过路口，我们将这个较为连续的事件转化为四个过程——直走探测路口、停止转向、直走通过路口、继续直行。将事件进行原子化、碎片化、状态化有助于提高电路的稳定度和降低编程的难度。

然后，硬件描述语言的编程和一般的高级语言，在编程方面感觉非常不一样。后者更加强调编程时以自顶向下的顺序原则进行思考，前者更加强调以互相平行的并行原则思考。想要熟练掌握相关的技巧和编程方式，还是有一定难度。

还有，在代码调试方面，硬件描述语言颇有难度。对于习惯一般高级语言的 **输出调试法** 或者 **Debug 调试法** 的我而言，逐渐习惯使用 **verilog** 中的 **Test Bench**，使用模拟方法调试代码，不是一件容易的事情，但好在我也逐渐在克服。

然后，在实现 **bonus** 功能的全自动驾驶模块时，我着实遇到了困难。我不怎么会玩迷宫，所谓的“右手原则”之前都没有听说过。通过查找互联网相关资料、询问队友和其他组的同学，我发现“右手原则”就是将右手始终碰着墙壁，保持直行。并且将这件事和 **DSAA** 课程中图的相关知识结合起来，我发现迷宫问题可以抽象为图中的寻找指定起点和终点的问题，可以使用 **DFS** 相关知识解决。并且根据放置信标，巧妙地记录了每个节点是否访问过的状态，从而解决了这个问题。所以，在遇到不熟悉的问题时，可以适当的寻求他人和其他资料的帮助，这有助于快速转化为熟悉擅长的问题，简化遇到的问题，这利于问题的解决。

最后，报告写作也并不是一件容易的事情，如何将我们在项目的成果用简洁精美的报告展示出来不容易。说实话，经过这次的报告撰写，确实提高了我的报告写作能力。

Thank You !

项目报告较长，非常感谢您看到最后！

GitHub @[Maystern](#) @[HeyHowAreYouDoing](#)