

图像边缘检测工程模块划分总结与分析

作者：王斌

本文为明德扬原创文章，转载请注明出处！

很多朋友在工程模块划分的时候总会遇到很多问题，比如不知道如何下手、模块划分不合理等；当然我最初也和大家一样不知道如何下手，学习了明德扬的课程后，再加上和老师的多多交流，我也总结出了一套方法思路，今天就通过明德扬边缘检测工程来与大家分享一下模块的划分思路。

明德扬边缘检测工程是明德扬的网络班、就业班的其中一个项目，实现了图像的实时采集、边缘检测算法、存储控制以及与串口等功能，涉及到了比较全面的知识与算法。一起来看看如何划分模块。

一、模块划分要点总结

1、列出项目的功能要求（客户提出的产品功能要求）

2、画出硬件的系统结构框图（添加外设）

3、框图中每个外围接口都对应有一个接口转换模块

接口转换模块的作用是将外围器件的接口时序转为通用的接口时序，或者将通用接口时序转换为外围器件接口时序，这样使得 FPGA 内部其他模块不用再关心外围接口的时序了。

MDY 规范通用接口时序：

- data 以及对应的 vld，传输单个数据格式
- MDY 的包文格式，din，vld，SOP，EOP，MTY，ERR
- wren，waddr，wdata；rden，raddr，rdata，rdata_vld

4、考虑是否涉及指令系统（操作码+数据格式）

上位机，例如 PC，ARM，DSP 或者其他的器件，只涉及到一个接口，但是却有很多指令或者命令功能要发送，因此就需要一个指令系统。

指令系统一定会涉及到命令、地址和数据。这种情况，肯定会有一个“寄存器解析模块”，根据命令、地址和数据，改变相应的寄存器的值。

5、考虑外围器件是否涉及寄存器配置

项目中有某些外设，上电工作前需要进行配置才能按要求工作。因此需要对外设内部寄存器进行读写，这一流程是通过 FPGA 来进行配置。

遇到这个情况，使用 MDY 推荐的模块寄存器配置结构：

寄存器配置表模块+寄存器读写配置模块+外设配置接口时序转换模块

6、根据实际情况，增加、补充或者拆分，优化对应模块，随时调整

原则：根据接口信号，看模块间是否方便对接。接口就决定了模块功能。所以在这一层的调整，一定要清楚接口的定义。

7、考虑是否涉及多路进一路出，要用 FIFO

调度 FIFO 要考虑自身带宽能否满足多路一起突发发送时的数据量情况。如果带宽不满足，就要输出给上游模块 RDY 信号。此时 RDY 信号有效取决于自己设置 FIFO 的 Almost Full 信号。如果带宽满足则不必设 RDY 信号。

8、考虑是否涉及到速率匹配问题，要加上 RDY 信号或者 FIFO

首先考虑与外围器件通信的接口上是否需要 rdy 信号（FPGA 内部运行频率往往与设接口速率不一致），然后考虑 FPGA 内部模块间数据带宽是否不一致，有等一等的情况。

二、边缘检测工程案例分析

根据前面总结的要点，通过实际项目案例来分析一下 FPGA 内部功能模块是怎样划分的。这里我们选取已经做过的图像边缘检测项目，接下来按照上面总结的模块划分步骤，一步步完成模块初步划分！

1.列出项目的功能要求

本项目功能要求：系统上电，OV7670 摄像头将实时采集图像数据传送给 FPGA，经过 FPGA 算法处理获得边缘图像，最终输出边缘图像到显示器上。

功能分析：

- 选用摄像头 OV7670 作为图像采集
- 摄像头内部寄存器需要上电配置，因此外设需要配置按键
- FPGA 内部做边缘检测算法处理
- 输出给显示器显示（用 VGA 接口）

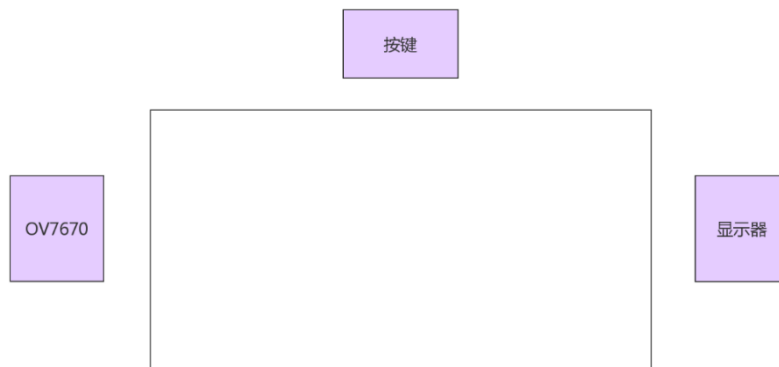
2.画出硬件系统结构框图

根据步骤 1 总结出的功能要求，找到除 FPGA 外需要哪些外围器件。

外围器件总共需要三个：

- 按键
- 摄像头 OV7670
- 显示器

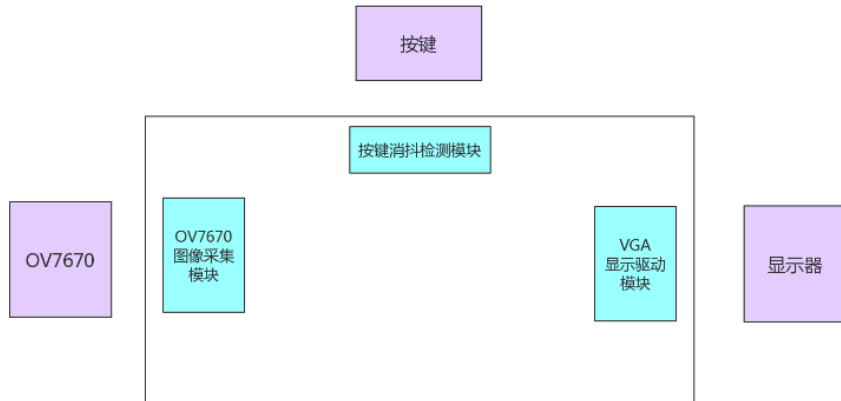
画出系统框图如下所示：



3.框图中每个外围接口都对对应有一个接口转换模块

- 按键对应的接口转换模块是**按键消抖检测模块**；
- OV7670 摄像头对应的接口转换模块是**OV7670 图像采集模块**；
- 显示器与 FPGA 连接是 VGA 接口，因此其对应的接口转换模块是**VGA 显示驱动模块**。

完善后框图如下所示：



4.考虑是否涉及指令系统

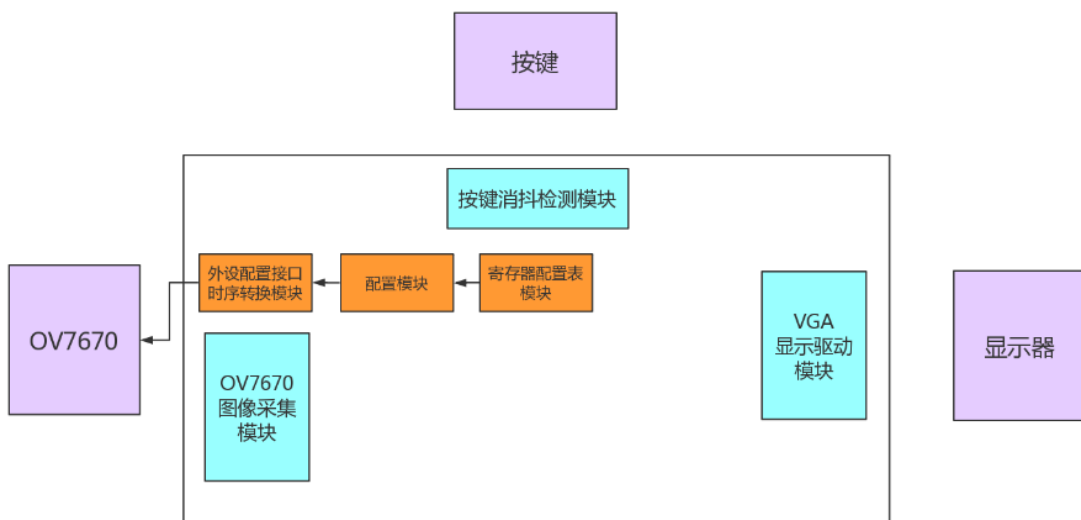
本项目不涉及指令系统，因此这里可以跳过。

5.考虑外围器件是否涉及寄存器配置

本项目中 OV7670 摄像头部分涉及寄存器配置。使用 MDY 推荐模板：**寄存器配置表模块+寄存器读写配置模块+外设配置接口时序转换模块**；

由于外设 OV7670 配置接口使用的是 SCCB 协议，所以外设配置接口时序转换模块对外接口也应该是 SCCB，对内是 MDY 规范接口。

补充后框图如下所示：

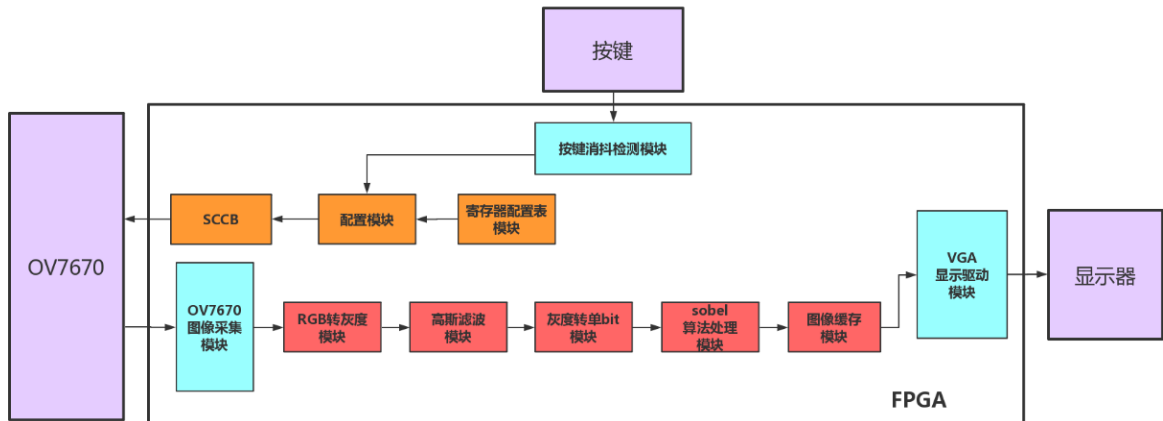


6.根据实际情况，增加、补充或者拆分独立对应模块，随时调整

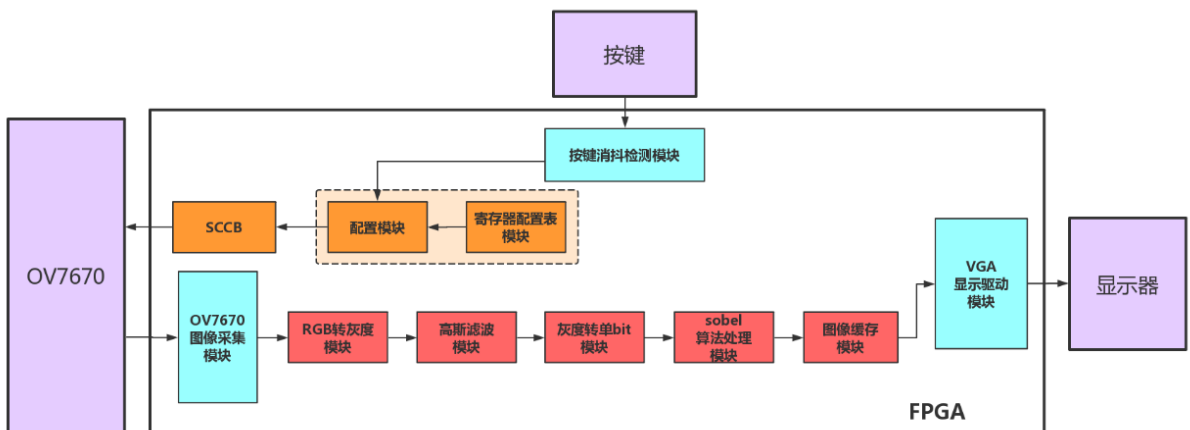
到第 6 步，根据数据流向，需要对模块间的接口进行详细分析了，补充模块或者将功能相同的模块合并化简。

- OV7670 图像采集模块输出的图像数据是 RGB565 格式，需要先将 RGB565 信号转成灰度图像，因此需要一个 **RGB 转灰度模块**；
- 输出的图像灰度数据需要进行高斯滤波处理，因此需要一个 **高斯滤波模块**；
- 为了做边缘检测，需要将高斯滤波处理后的灰度图像数据转换为单 bit 数据，因此需要一个 **灰度转单 bit 模块**；

- d) 转换后的单 bit 数据，需要经过 sobel 算法处理才能得到图像边缘，因此需要一个 **sobel 算法处理模块**；
- e) 经过 sobel 算法处理模块输出的图像数据就可以输出给显示器了，但是为了图像连续完整输出、不断帧，就需要做一下缓存，因此需要一个**图像缓存模块**。
- 补充后如下图所示：



接下来将功能互斥、数据流向相关且接口一致的模块做合并简化处理，如下图所示：



7.考虑是否涉及多路进一路出，要用 FIFO

本项目数据流方面没有涉及多路进一路出的问题，不需要考虑此处的 FIFO 问题。

8.考虑是否涉及到速率匹配问题，要加上 RDY 信号或者 FIFO

首先考虑与外围器件通信的接口上是否需要 rdy 信号

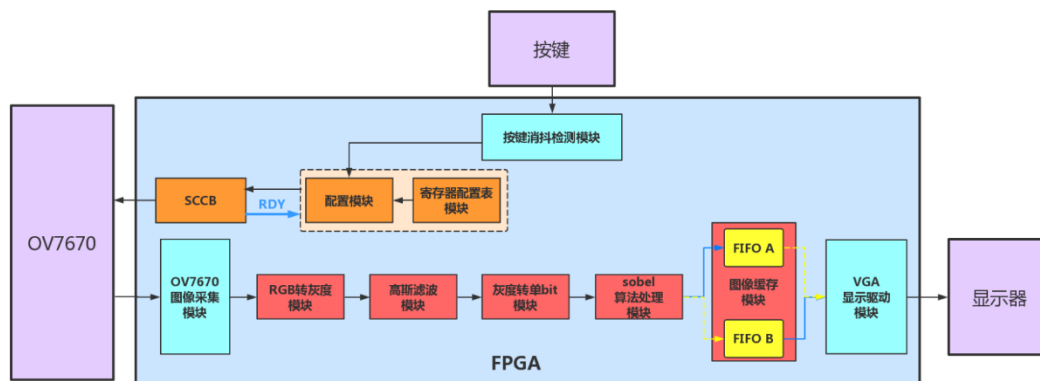
OV7670 配置接口采用的 SCCB 协议，运行频率是 100K，远小于 FPGA 内部系统运行频率 25M，所以外设配置接口时序转换模块与配置模块间需要**设 rdy 信号**。

再考虑 FPGA 内部模块间运行速率不匹配的情况

sobel 算法处理模块输出的图像数据发送给图像缓存模块，图像缓存模块要缓存一幅完整图像需要等待，需要设一个 FIFO。

为了完成乒乓操作，需要设立两个 FIFO 才能实现写 FIFO A 一幅完整图像数据，同时 VGA 显示驱动模块可以读缓存好的 FIFO B 内完整图像数据。

因此图像缓存模块需要设两个 FIFO（实际项目中用片内 RAM 代替了 FIFO，本质相同）。
最终得到的模块图如下所示：



到此，根据模块划分步骤一步步做下来，图像边缘检测工程的模块划分雏形初步已经完成。具体实践中需要根据 FPGA 内部信号的调整，随时拆分或独立来增减功能模块。

以上就是我们做模块划分的基本思路，大家有什么问题可以加Q群 544453837 进行交流，更多 F P G A 相关资料可以登录明德扬论坛进行学习浏览：<http://www.fpgabbs.cn/>。