

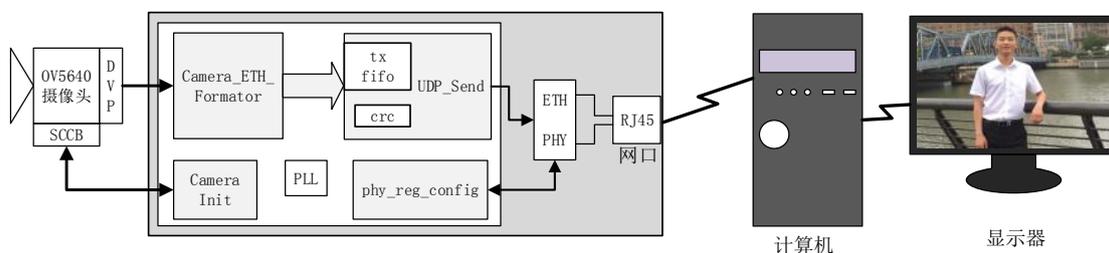
以太网图像发送 PC 接收显示实验测试

通过 FPGA 实现以太网的一个主要目的就是使用以太网将 FPGA 采集到的各种数据发送到 PC, 如高速 ADC 实时采集数据, 或者图像传感器采集的图像数据。此类应用传输过程中数据量大, 实时性要求较高。使用基于 CPU 架构实现的软件以太网协议栈, 受限于 CPU 计算性能和数据组包的规律, 一般效率都无法做到很高。而使用 FPGA 实现以太网传输, 则可以提供稳定且高效的传输能力。

无论是 ADC 实时采集的模拟数据, 还是图像传感器或其他传感器采集的数据, 其数据特点都是高速且高实时性。因此本节将以一个以太网图像传输实例为例, 介绍使用以太网传输图像到 PC 并显示的方式。

以太网图像传输工程介绍

基于以太网的图像传输工程, 使用 UDP 协议, 将 OV5640 摄像头采集到的图像数据经由以太网传输到 PC 端, 再由 PC 端的图像显示软件接收图像数据并绘制在屏幕上, 以还原图像内容。整个系统框图如下图所示:



本例程在小梅哥团队出品的FPGA开发板上使用 verilog 实现以太网UDP 协议通信。FPGA 采集 OV5640 输出的 RGB565 格式的图像数据, 并将采集到的图像数据使用一定的编号方式编号后以行为单位, 使用 UDP 协议经由以太网发送到 PC 机。PC 机上使用我们专门开发的显示软件(小梅哥 UDP 摄像头 V3.exe)接收 FPGA 发送的编号后的图像数据, 解析后还原为图像内容绘制在 PC 机显示屏上。

本例对应的例程工程压缩包名为 AC606_OV5640_UDP_Camera.rar, 该文件可在我们提供的配套资料中找到。

解压 AC606_OV5640_UDP_Camera.rar 到不含中文或者空格的目录中，如 D:\fpga。解压后工程目录下内容如下所示：

名称	修改日期	类型	大小
ip	2020/1/12 23:30	文件夹	
output_files	2020/3/4 21:50	文件夹	
rtl	2020/3/4 21:50	文件夹	
ov5640_mii_udp.qpf	2020/1/12 23:31	QPF 文件	2 KB
ov5640_mii_udp.qsf	2020/3/4 21:50	QSF 文件	6 KB
ov5640_mii_udp.sdc	2020/3/4 21:48	SDC 文件	9 KB
PLLJ_PLLSPE_INFO.txt	2020/3/4 21:45	文本文档	1 KB

其中 rtl 文件夹下存放的为程序源码，这里对其中几个重要文件（夹）简单说明下功能：

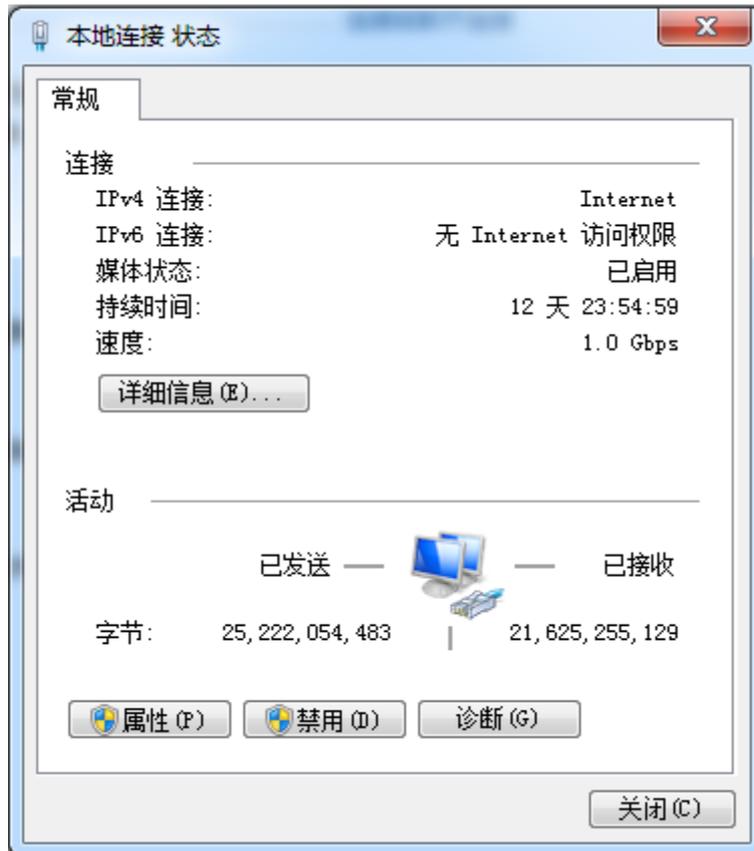
文件或文件夹名	文件或文件夹功能描述
OV5640_UDP_GETH.qpf	工程文件，使用 Quartus II 13.0 打开。
OV5640_UDP_GETH.qsf	工程配置文件，记录了工程相关的各个设置，包括引脚分配。
OV5640_UDP_GETH.sdc	工程的时序约束文件，约束了时钟和以太网的 IO 时序。
-rtl/eth UDP_Send.v	UDP 协议发送模块，该模块将用户输入的需要发送的数据内容经过 UDP、IP、MAC 层协议层层打包后，通过 MII 接口输出给以太网 PHY 芯片，以完成数据的发送。
-rtl/eth eth_dcfifo.v	UDP 发送数据缓存 FIFO，用户将需要发送的数据写入该 FIFO，然后由 UDP_Send 中的发送逻辑将数据读出并最终以 UDP 协议发送。
-rtl/eth crc32_d8.v	CRC32 校验逻辑，计算经由 MAC 层发送的数据的 CRC 值并附加在 MAC 结尾发送。
-rtl --- Camera_ETH_Formator.v	整个工程的设计顶层文件，例化了 UDP 接收和 UDP 发送以及回环数据搬运模块，实现完整的回环测试功能。
-rtl --- OV5640_UDP_GETH.v	整个工程的设计顶层文件，例化了 UDP 发送和摄像头 DVP 接口图像数据捕获编码模块，实现完整的图像采集传输功能。
-output_files ---UDP_MII_LoopBack.sof	预先编译好的 FPGA 配置文件，将该文件下载到开发板中即可进行测试。

以太网图像传输工程实操

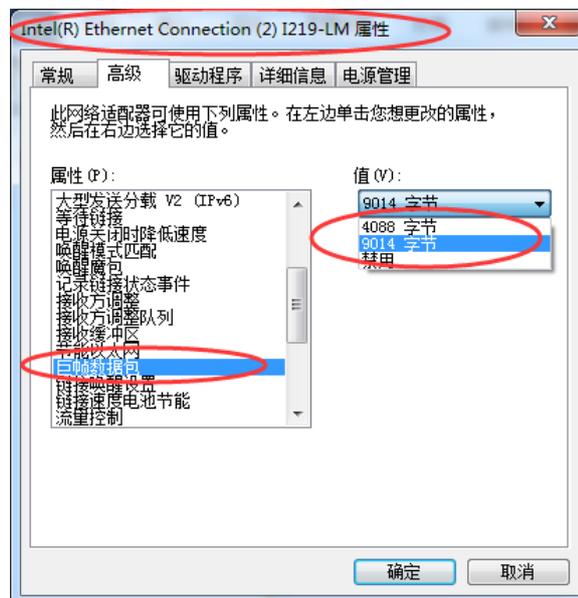
- 1、 使用网线将开发板上的以太网接口和您当前调试测试工程用的 PC 机的网口连接起来。连接好下载线缆并给开发板上电。
- 2、 将 OV5640 摄像头插入开发板的摄像头接口中。
- 3、 双击 OV5640_UDP_GETH.qpf 以打开工程（强烈建议使用工程创建时候对应的版本即 Quartus II 13.0 打开，使用其他版本打开或编译遇到问题，请自行解决）。
- 4、 下载 OV5640_UDP_GETH.sof 文件到开发板中，注意这一步一定要先于下面的步骤执行，否则以下操作无法正常进行。
- 5、 在电脑上进入【控制面板】->【网络和 Internet】->【查看网络状态和任务】，查看网络连接状态。需要看到在活动网络中有本地连接存在，才表明开发板和电脑的网络才已经连通。此时如果重新下载 sof 文件到开发板中，会发现此本地连接会先消失，然后再重新出现。至于显示的无法连接到网络选项，意思是指无法连接到互联网获取网络上的数据，这是正常的，无需在意。



- 6、 点击“本地连接”文字，以查看该网络状态，确认当前连接速度为千兆速率（1Gbps）



7、打开电脑网卡的巨型帧（MTU）选项，选择大于等于 4K 的帧选项。如下图所示：



8、在上述本地连接状态中，点击属性，并在弹出的属性对话框中双击【Internet 协议版本 4（TCP/IPv4）】选项，然后再弹出的属性对话框

中设置静态 IP 地址，如在前一个实验已经进行了设置，则此处可不用再重复设置。如下图所示。

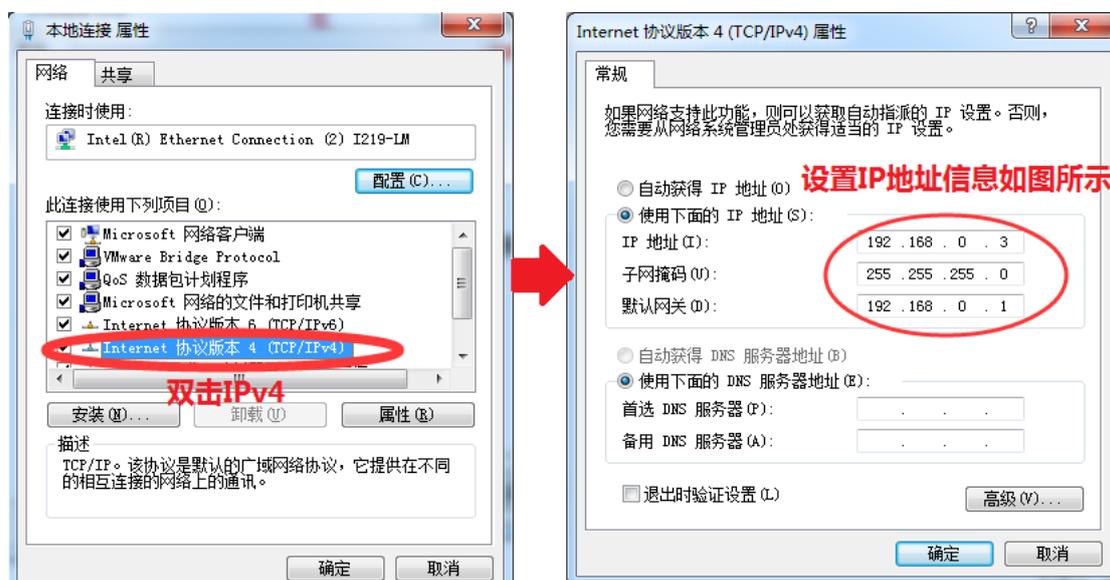


图 错误!文档中没有指定样式的文字。-1 修改 PC 的 IP 地址

9、 由于本测试工程不支持 ARP 协议，因此只能通过静态绑定的方式来强制将开发板的 IP 地址和 MAC 地址关联在一起。这样，当 PC 发送给 192.168.0.2 的数据包的时候，目标 MAC 地址自动为开发板的 MAC 地址。

操作时先以管理员身份运行 cmd.exe 程序(该文件在 C:\Windows\System32 路径下)，也就是我们常说的命令行窗口。由于有用户反应在使用时无法成功绑定 arp，经过分析就是操作权限不够，所以这里强调要以管理员身份运行 cmd.exe。然后在窗口中输入下述命令：

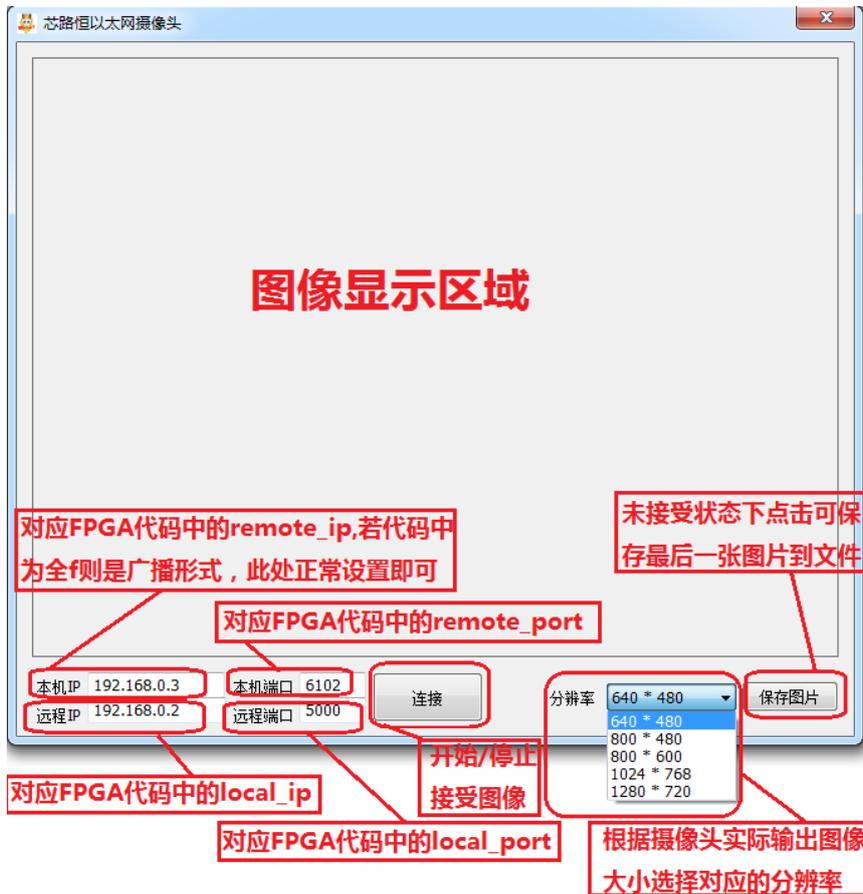
```
arp -s 192.168.0.2 00-0a-35-01-fe-c0
```

绑定后我们可以用 arp -a 命令来查看 PC 上绑定的结果，如下图所示：



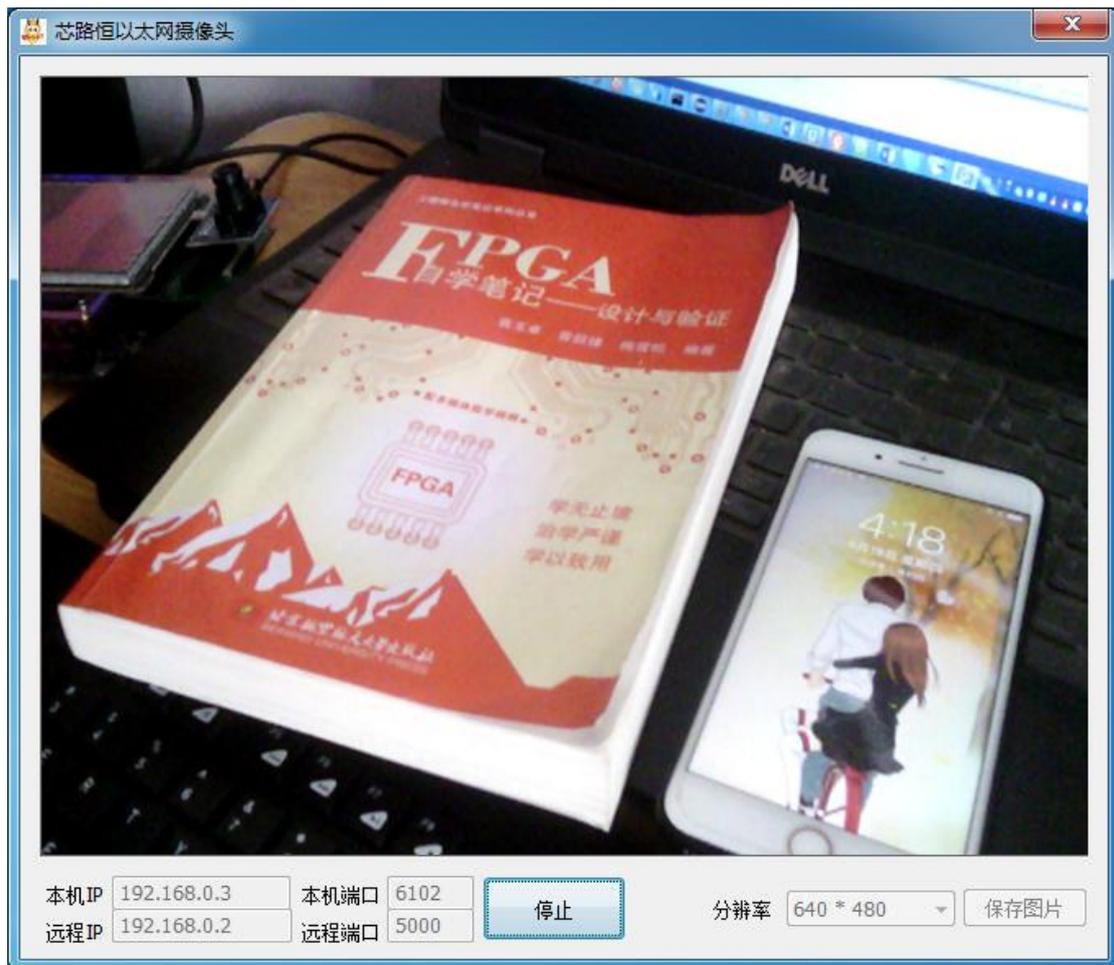
部分板卡配套的程序使用的 MAC 地址还是 00-0a-35-01-fe-c0，如 AC606 配合 RTL8211 模块的例程。也就是本例程。所以绑定时候需要使用 00-0a-35-01-fe-c0，而不是 00-07-ed-ac-62-00。

10、 打开网络调试助手（小梅哥 UDP 摄像头.exe）并按照如下所述设置各项参数。

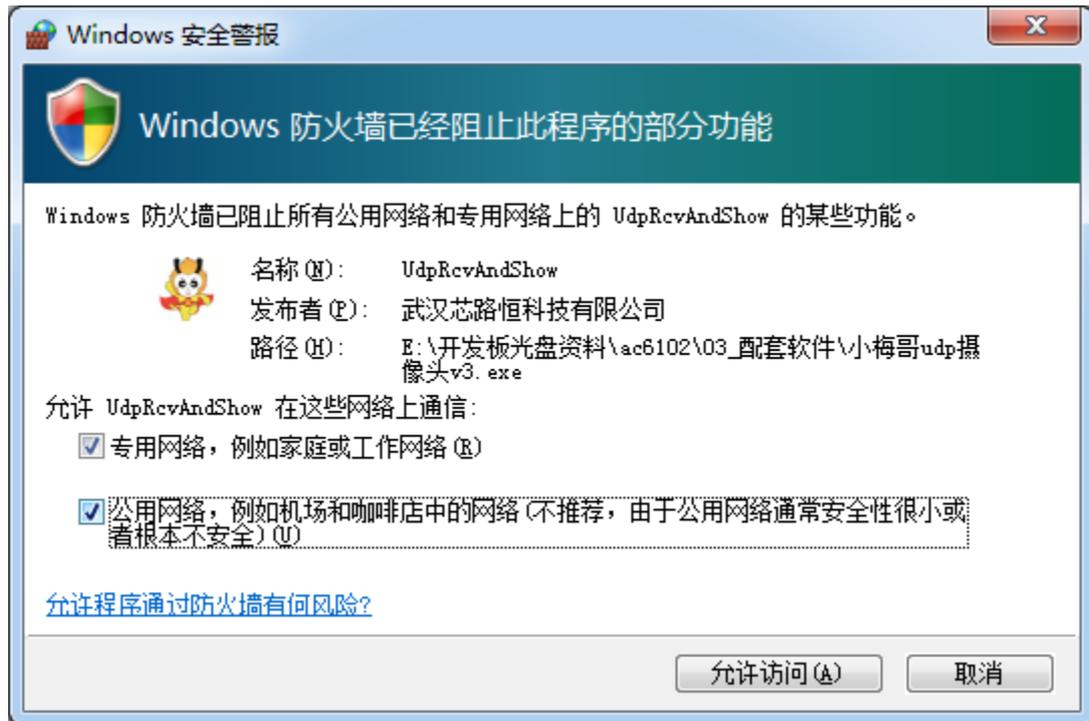


- 本机 IP，对应当前实验所用电脑的 IP 地址，前面已经按照要求设置为了 192.168.0.3，所以这里直接填写该地址。
- 本机端口，对应当前实验所用电脑接收图像时使用的网络端口，该端口在 FPGA 程序中定义为了 6000，所以这里也要设置为 6000 才能正确显示图像。
- 远程 IP，对应 FPGA 开发板使用的 IP 地址，也就是代码中的 `src_ip` 值。例程使用的为 192.168.0.2。
- 远程端口，对应 FPGA 开发板使用的端口号，也就是代码中的 `src_port` 值，例程使用的为 5000。
- 分辨率，对应了摄像头输出的图像分辨率大小，本实验中，接口使用的分辨率为 1280*720。
- 保存图片，该按钮在软件停止接受图像后，点击可以保存最后界面上显示的图像内容到文件。
- 连接/停止，该按钮可以开始和停止接受并显示图像，当所有参数设置好之后，点击该按钮即可开始接收并显示图像。

11、 设置好参数后，点击连接按钮即可开始接收并显示图像内容。



- 12、 该软件运行时需要关闭防火墙，软件自带关闭防火墙功能，点击连接时会提示是否关闭防火墙，勾选专用网络和公共网络两个选项，然后点击【允许访问按钮】即可。如果还是无法关闭，考虑软件权限不够，以管理员身份运行本软件即可。



至此，则完成了基于 FPGA 的千兆以太网接口的 UDP 协议图像发送到 PC 显示功能实验。本实验操作简单，趣味性和实用性都较强，适合大家用来学习练习。

实验常见问题和解答：

无法连接：

- 1、有可能是该 6102 端口号在你电脑上恰好被其他软件占用，可以更换任意一个端口号，再检查是否能连接上（不在乎能否出图，能连接上就行）来确定该问题，如果换了端口号能正常连接，则是端口号被占用，可在 FPGA 代码中修改 `des_port` 的值为能连接的端口号后重新编译再测试。
- 2、检查你的电脑有线网络本地连接是否连接上了。
- 3、检查你的电脑 IP 地址是否已经设置为了 192.168.0.3.

接收不到图像

- 1、接收不到图像的情况下，手动确认防火墙是否已经被关闭，软件自带的临时关闭防火墙功能需要软件是以管理员身份运行的，可重新使用管理员身份运行软件，如果还是无法关闭，则可在电脑设置中人工关闭防火墙。

2、 确保 OV5640 已经正确的接入了开发板。