

OpenTSN3.2 组网演示系统

使用手册

(版本 1.1)

OpenTSN

OpenTSN 开源项目组

2021 年 10 月

版本历史

版本	修订时间	修订内容	修订人	文件标识
1.0	2021.10.16	初版编制	开源项目 组	OpenTSN3.2

目录

1、概述.....	6
2.1 TSN 组网环境拓扑.....	6
2.2 组网设备配置.....	7
2.3 硬件板卡说明.....	9
2.4 集中控制器软件 TSNLight3.0 使用说明.....	11
2.5 TSN 测试仪控制器软件说明.....	12
3、硬件逻辑代码固化.....	12
4、演示案例.....	13
4.1 自学习测试.....	14
4.1.1 预期结果.....	14
4.1.2 操作步骤.....	14
4.1.3 测试结果.....	15
4.2 时间同步精度测试.....	15
4.2.1 预期结果.....	15
4.2.2 参数配置.....	15
4.2.3 操作步骤.....	17
4.2.4 测试结果.....	17
4.3 时间敏感流量的端到端延时测试.....	18
4.3.1 预期结果.....	18
4.3.2 参数配置.....	18
4.3.3 操作步骤.....	20
4.3.4 测试结果.....	21
4.4 门控测试.....	21
4.4.1 预期结果.....	21
4.4.2 参数配置.....	22
4.4.3 操作步骤.....	22
4.4.4 测试结果.....	23
4.5 流量优先级测试.....	23

4.5.1 预期结果.....	23
4.5.2 参数配置.....	23
4.5.3 操作步骤.....	24
4.5.4 测试结果.....	26
附录 1: 软件运行环境搭建.....	27

OpenTSN

1、概述

OpenTSN3.0分为TSN交换机（交换逻辑）和TSN网卡（端逻辑）两个独立的硬件逻辑，在此基础上，硬件方面加入自学习功能，软件方面增加指示灯验证功能，即为OpenTSN3.2版本。本文通过搭建组网案例来对TSN网卡和TSN交换机逻辑的功能准确性进行演示验证。

2、组网环境组成

2.1 TSN 组网环境拓扑

使用 2 个 TSN 交换机、2 个 TSN 网卡、1 个 TSN 测试仪、一个网络摄像头、4 台 PC 搭建如图 2-1 所示的演示环境拓扑，图中实线均为网线连接，箭头指向即为数据流向。图中包含三个流量测试通路，分别是 vlc 流量通路、摄像头实时监控视频流量通路以及混合流量通路。

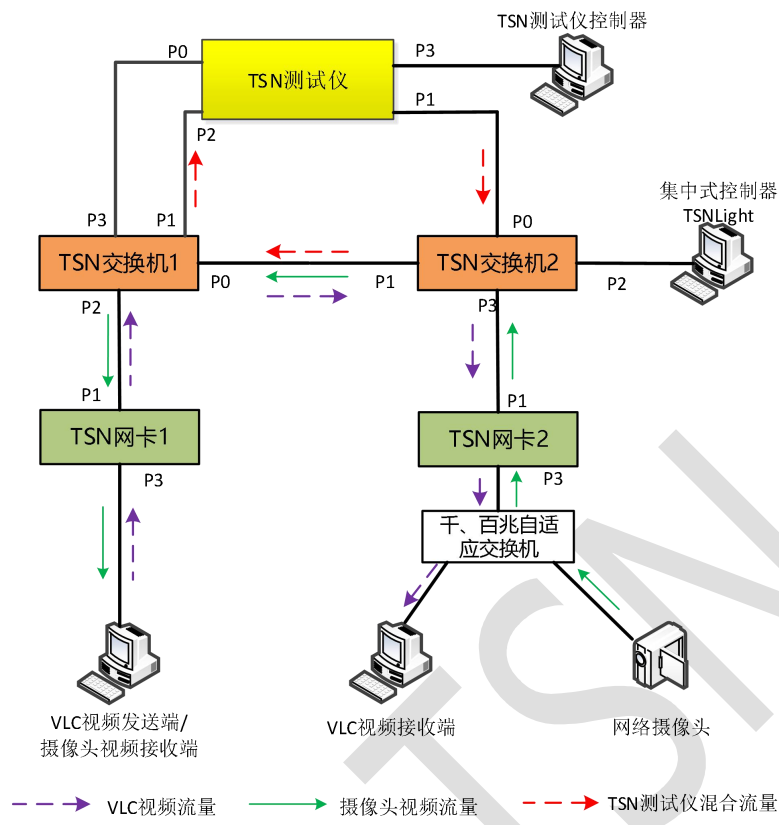


图 2-1 演示环境拓扑图

2.2 组网设备配置

组网中各设备的信息如下表 2-1 所示。

表 2-1 设备配置

序号	设备名称	配置信息	备注
1	TSN 交换机	2 个, 搭载了 OpenTSN3.2 的交换机逻辑	用于 TSN 网络中流量的交换
2	TSN 网卡	2 个, 搭载了 OpenTSN3.2 的网卡逻辑	用于 TSN 网络中流量的映射、重映射、提交、注入等
3	VLC 流量发送端/摄像头视频接收端	Windows 电脑: 1) 经网卡 1 连接在 TSN	用于 VLC 流量和摄像头视频流量的测试, 组网测试使用时需把防火墙关闭

序号	设备名称	配置信息	备注
		交换机 1 的 P2 口； 2) 安装 VLC 播放软件以及摄像头视频流量接收客户端；	
4	网络摄像头	1) 由于 TSN 网卡目前只支持千兆, 因此百兆网络摄像头与 TSN 网卡 2 之间需要连接千百兆自适应交换机； 2) 经网卡 2 连接在 TSN 交换机 2 的 P3 口；	用于摄像头视频流量的发送, 不同摄像头的 IP 地址和 MAC 地址可能与本文中提到的不同, 需要修改对应的表项
5	VLC 流量接收端	Windows 电脑： 1) 经网卡 2 连接在 TSN 交换机 2 的 P3 口； 2) 安装 VLC 播放软件；。	用于接收 VLC 流量, 组网测试使用时需把防火墙关闭
6	集中控制器 TSNLight3.0	Linux 设备（虚拟机也可, 具体要求参考附录） 1) 直连在 TSN 交换机 2 的 P2 口；	用于网络配置、全网时间同步等

序号	设备名称	配置信息	备注
		2) 需要运行集中式控制器软件 TSNLight;	
7	TSN 测试仪控制器	Linux 设备（虚拟机也可，具体要求参考附录） 1) 需要运行 TSN 测试仪控制器软件 TSNNic	用于控制 TSN 测试仪发送流量的内容、速率等
8	TSN 测试仪	1) ST/RC/BE 流的发送与接收;	用于 ST、RC、BE、流量的发送及接收，并统计时延抖动等信息

2.3 硬件板卡说明

板卡的实物如下图 2-2 和图 2-3 所示，板卡尺寸为：100mm* 80mm。板卡内部根据固化的逻辑代码不同，实现的功能也不同。板卡可固化测试仪、网卡、交换机硬件逻辑。

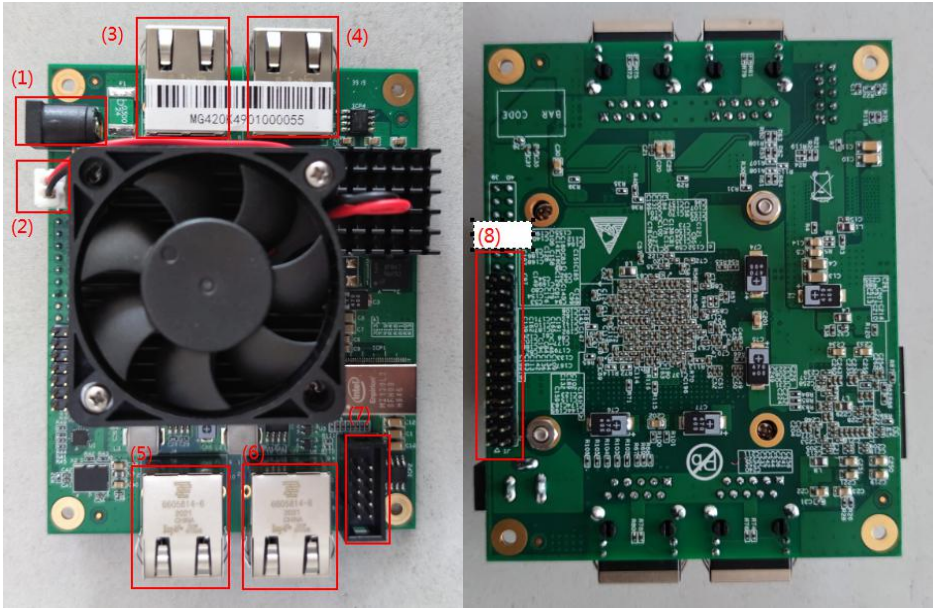


图 2-2 板卡-正面和背面



图 2-3 板卡-侧面

图 2-2 与图 2-3 中标注 (1)–(8) 的接口，说明如表 2-2。

表 2-2 接口说明

编号	接口说明
1	12V 电源插座。注意此插座不能与底板上面的 12V 插座同时插上。
2	12V 风扇插座，有防呆设计。
3	千兆电口 3
4	千兆电口 2
5	千兆电口 0
6	千兆电口 1

编号	接口说明
7	JTAG 插座，有防呆设计。可用于 JTAG 边扫调试及 AS Flash 烧录。
8	2.54mm 网格插针

2.4 集中控制器软件 TSNLight3.0 使用说明

集中控制器包含的源文件如图 2-4 所示，arp_proxy 目录下存放 arp 代理应用的文件、basic_cfg 目录下存放基础配置应用的文件、cnc_api 目录下存放的是通用库文件、local_cfg 目录下存放的是本地配置文件、net_init 目录下存放的是网络初始化文件、ptp 目录下存放的是时间同步应用文件、remote_cfg 目录下存放的远程配置文件，state_monitor 目录下存放的是网络在运行状态实现的应用的文件。main.c 文件为程序的主函数，makefile 为编译时需要的文件，tsnlight 为编译后生成的可执行文件。

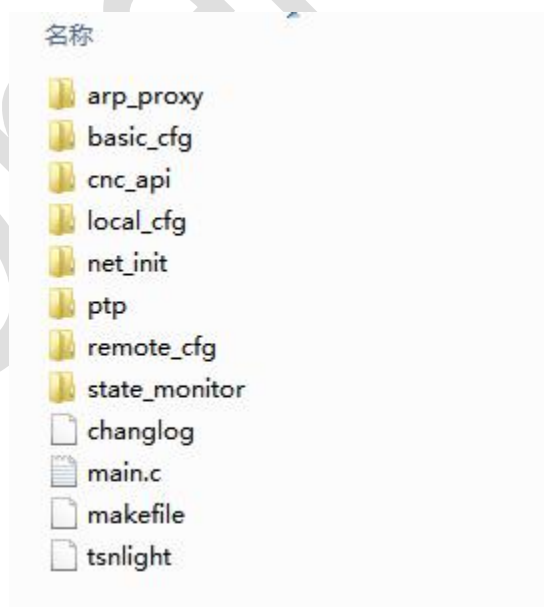


图 2-4 集中控制软件目录

在运行集中控制器 TSNLight3.2 前需要进行三个步骤：

步骤一：编译库文件，在 `cnc_api` 目录下执行 `make`，编译库文件；

步骤二：编译应用，在 `TSNLight3.2` 目录下执行 `make`，编译 TSNLight 控制器。

步骤三：执行 `./tsnlight net_interface`，`net_interface` 为网络接口名称，可以通过 `ifconfig` 查看。

控制器运行的具体环境参考附录 A。

2.5 TSN 测试仪控制器软件说明

TSN 测试仪控制器软件目前只提供编译后生成的可执行文件和必须的文本文件，其中可执行文件为 `tester_ui`。在运行时执行“`./tester_ui`”即可出现配置界面。

3、硬件逻辑代码固化

TSN 工程固化逻辑代码的具体操作步骤如下：

- 1) 建立好工程并编译完成后，生产固化文件，例如图 3-1。
- 2) 点击 `tools->programmer->add files`，添加编译完成的 `.jic` 文件（固化 TSN 网卡逻辑 `nic_output_file.jic` 文件，固化 TSN 交换机逻辑选择 `TSSwitch_output_file.jic` 文件）。
- 3) 选择烧录线的 USB 串口，并选择 JTAG 模式烧录，点击 `start` 开始烧录 TSN 工程。如下 3-2 所示。

名称	修改日期	类型
nic_output_file.jic	2021/2/3 19:55	JIC 文件
TSSwitch_output_file.jic	2021/2/6 9:00	JIC 文件

图 3-1 jic 文件

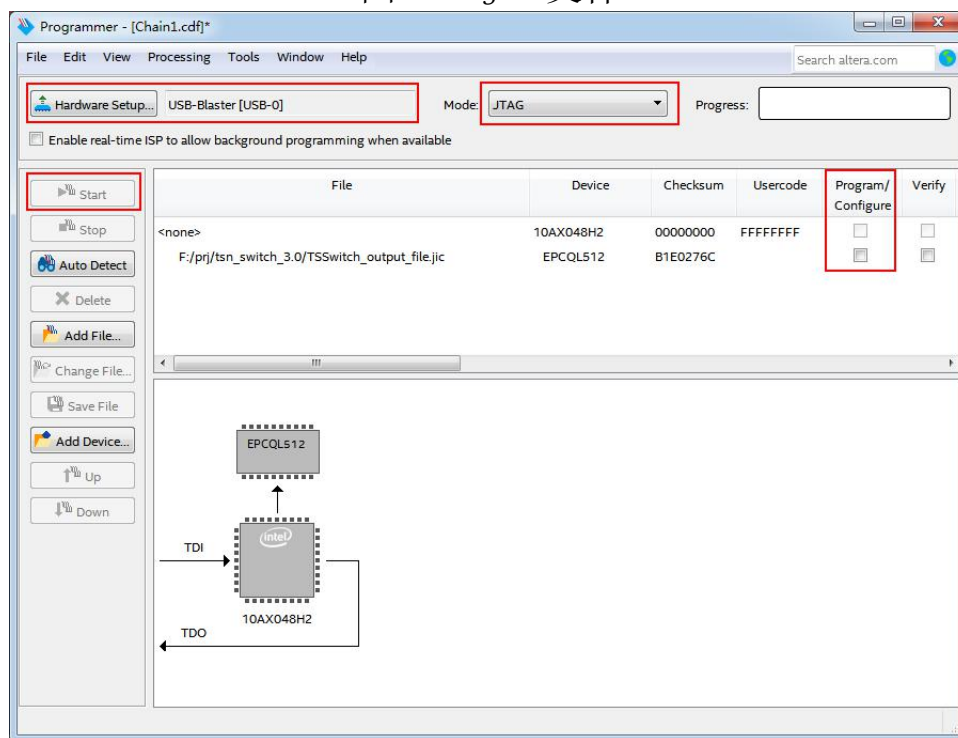


图 3-2 固化逻辑代码

4、演示案例

按照图 2-1 测试场景搭建好 TSN 组网拓扑环境，按照图 4-1 中配置的表项进行交换机和网卡的初始配置。其中 TSN 交换机 1 的“imac=2”，TSN 交换机 2 的“imac=3”，TSN 网卡 1 的“imac=4”，TSN 网卡 2 的“imac=5”，TSN 测试仪的“imac=100”。初始配置的部分配置信息如下图所示：

```

<network_init_cfg>
<!-- 控制器的IMAC地址默认为0-->
<tsnlight_info>
  <master_imac>3</master_imac> <!-- master_imac表示主时钟的imac地址为1-->
  <sync_period>200</sync_period> <!-- sync_period表示时间同步的周期为200ms-->
  <sync_flowID>4096</sync_flowID> <!-- sync_flowID表示sync组播的flowID为4096-->
  <report_period>200</report_period> <!-- report_period表示上报周期为200ms-->
</tsnlight_info>

<switch>
  <!-- TSN交换机的属性信息-->
  <register>
    <IMAC>3</IMAC> <!-- 交换机的IMAC地址-->
    <port_type>0</port_type> <!-- 示例port_type=253（二进制9b'1111 1101）表示设备的7、6、5、4、3、2、0号端口为非协作模式，1号端口为协作模式-->
    <time_slot>32</time_slot> <!-- 时间槽的长度为32us-->
    <inject_slot_period>4</inject_slot_period> <!-- 注入周期为4-->
    <submit_slot_period>4</submit_slot_period> <!-- 提交周期为4-->
    <qbv_or_qch>0</qbv_or_qch> <!-- 调度模型为qbv-->
    <ST_buf_threshold>200</ST_buf_threshold> <!-- ST帧的缓冲区块阈值-->
    <port_num>4</port_num> <!-- port_num表示当前端口的数量，支持网卡1个端口，交换机8端口和4端口-->
  </register> <!-- 交换机的属性信息-->
  <forward_table> <!-- 交换机的初始转发表-->
    <entry>
      <flowid>0</flowid>
      <outport>4</outport>
    </entry>
    <entry> <!-- 交换机0 -->
      <flowid>2</flowid>
      <outport>2</outport>
    </entry>
    <entry> <!-- 交换机1 -->
      <flowid>3</flowid>
      <outport>256</outport>
    </entry>
    <entry> <!-- 交换机2 -->
      <flowid>4</flowid>
      <outport>2</outport>
    </entry>
    <entry>
      <flowid>5</flowid>
      <outport>8</outport>
    </entry>
  </forward_table>
</switch>

```

图 4-1 部分组网的初始配置

4.1 自学习测试

4.1.1 预期结果

将摄像头接收端与 VLC 视频发送端通过交换机的自学习功能进行通信，若能 ping 通则自学习功能正常运行。

4.1.2 操作步骤

自学习测试的具体操作步骤如下：

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表2-1配置好终端设备环境；
- 2) 将摄像头视频接收端与VLC视频发送端进行通信
- 3) 观察摄像头视频接收端与VLC视频发送端是否能够ping通。

4.1.3 测试结果

观察摄像头视频接收端与 VLC 视频发送端能够 ping 通，自学习功能正常运行。

4.2 时间同步精度测试

4.2.1 预期结果

以 TSN 交换机 2 为主时钟节点，TSN 交换机 1、TSN 网卡 1、TSN 网卡 2 以及 TSN 测试仪作为从时钟节点的网络拓扑，进行时间同步精度测试，测试过程中记录并打印 4 个从节点的 offset 值。在网络正常运行时，在集中控制器的终端界面上会将同步节点实时上报的同步信息参数 offset 值打印，并且 offset 参数值应保持在在 12 (100ns) 以内。

4.2.2 参数配置

时间同步精度测试的关键表项配置在于时间同步报文的转发配置，集中式控制器周期性发送的 sync 报文 flowid 为 4096，sync 报文需要经过主时钟转发给各个从时钟。在 TSN 交换机 2 中需要通过 1 号和 3 号网口转发到各个从节点；在 TSN 交换机 1 中需要通过主机口转发给本地和通过 3 号端口转发给 TSN 测试仪。

集中控制器的 IMAC 为 0，每个 TSN 交换机都需要与集中控制器进行通信，因此需要配置 IMAC=0 的转发方向。

交换机和网卡其余配置详见表 4-1。

表 4-1 时间同步精度测试配置表项

TSN 交换机 1 配置 (IMAC=2)		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
时间同步报文	4096	264
时间同步响应报文	0	1
寄存器 register		
	名称	数值
端口类型	port_mode	0
时间槽	time_slot	32
注入周期	inject_slot_period	4
提交周期	submit_slot_period	4
调度机制	qbv_or_qch	0 (0 表示 qbv)
预留 ST 的 buf	ST_buf_threshold	300
TSN 交换机 2 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
时间同步报文	4096	10
时间同步响应报文	0	4
寄存器 register		
	名称	数值
端口类型	port_mode	0
时间槽	time_slot	32
注入周期	inject_slot_period	4
提交周期	submit_slot_period	4
调度机制	qbv_or_qch	0
预留 ST 的 buf	ST_buf_threshold	300
TSN 网卡 (2 个) 配置		

寄存器 register		
	名称	数值
端口类型	port_mode	0
时间槽	time_slot	32
注入周期	inject_slot_period	4
提交周期	submit_slot_period	4
预留 ST 的 buf	ST_buf_threshold	300

4.2.3 操作步骤

时间同步精度测试的具体操作步骤如下：

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 2-1 配置好终端设备环境；
- 2) 根据图 4-1 和表 4-1 配置好表项；
- 3) 在集中控制器终端，运行集中控制器软件 TSNLight3.2，执行“./tsnlight net_interface”。（具体运行方式参考 2.4 章节）
- 4) 在集中控制器的终端上，可以观察到各个节点的 offset 打印信息，根据 offset 可以观察到各个节点时间同步状态。

4.2.4 测试结果

经过固定的时间周期进行网络各个节点的时钟对齐，打印界面的各个从时钟的 offset 值能够稳定在 0--12（该值表示拍数，每拍为 8ns）之间变化，即在 100ns 的精度范围内，符合预期。

4.3 时间敏感流量的端到端延时测试

4.3.1 预期结果

在 qbv 的调度机制下，利用 TSN 测试仪构造 3 条字节长度 64B、带宽 100Mbps 的流量，从测试仪发送端发出，经过 TSN 网络转发后，在 TSN 测试仪接收端接收到的混合流量中 ST 流量的时延波动小、延迟在一定预期范围内，并且流量不存在丢包。

4.3.2 参数配置

时间敏感流量的端到端的延时测试的关键表项配置在于流量的路径规划，也就是转发表和门控表的配置，交换机详细配置详见表 4-2。

表 4-2 混合流量测试配置表项

TSN 交换机 1 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
100M 的 ST 流量	11	2
100M 的 RC 流量	12	2
100M 的 BE 流量	13	2
TSN 交换机 2 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
100M 的 ST 流量	11	2
100M 的 RC 流量	12	2
100M 的 BE 流量	13	2

```

<switch>
  <IMAC>2</IMAC><!-- TSN交换机1交换机的imac为2 -->
  <forwarding_table>  <!-- 转发表 -->
    <entry>
    <entry>
    <entry>
      <flowid>11</flowid>
      <outport>2</outport>
    </entry>
    <entry>
      <flowid>12</flowid>
      <outport>2</outport>
    </entry>
    <entry>
      <flowid>13</flowid>
      <outport>2</outport>
    </entry>
  </entry>
</entry>

```

图 4-2 TSN 交换机 1 转发表配置

```

<gate_control_list_table>
  <port_id>2</port_id><!-- 1号节点中0号端口门控表 -->
  <!-- 其中id表示端口号，id=2表示2号端口，每个交换机有8个网络口，分别为0，1,2,3,4，5,6,7 -->
  <entry>
    <time_slot>0</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
    <!-- gate-state表示门控状态，使用bitmap形式，共8位，
    从低到高依次代表ts0、TS1、TS2、RC、PTP、BE、NMAC、重组队列。
    每一位代表一个队列的门控状态，1表示门控打开，0表示关闭。
    示例gate_state=254（二进制0b'11111110）表示7、6、5、4、3、2、1号队列为打开状态，
    0号队列为关闭状态。 -->
  </entry>
  <entry>
    <time_slot>1</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
  <entry>
    <time_slot>2</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
  <entry>
    <time_slot>3</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
</gate_control_list_table>

```

图 4-3 TSN 交换机 1 门控表配置

```

<switch>
  <IMAC>3</IMAC><!--TSN交换机2的imac为3 -->
  <forwarding_table>  <!-- 转发表 -->
    <entry>
    <entry>
    <entry>
      <flowid>11</flowid>
      <outport>2</outport>
    </entry>
    <entry>
      <flowid>12</flowid>
      <outport>2</outport>
    </entry>
    <entry>
      <flowid>13</flowid>
      <outport>2</outport>
    </entry>
  </entry>
</entry>

```

图 4-4 TSN 交换机 2 转发表配置

```

<gate_control_list_table>
<port_id>0</port_id><!-- 1号节点0端口门控表 -->
<!-- 其中id表示端口号, id=2表示2号端口, 每个交换机有8个网络口, 分别为0, 1,2,3,4, 5,6,7 -->
<entry>
  <time_slot>0</time_slot>
  <gate_state>255</gate_state>
  <!-- gate_state表示门控状态, 使用bitmap形式, 共8位,
  从低到高依次代表TS0、TS1、TS2、RC、PTP、BE、NMAC、重组队列。
  每一位代表一个队列的门控状态, 1表示门控打开, 0表示关闭。
  示例gate_state=254 (二进制0b'11111110) 表示7、6、5、4、3、2、1号队列为打开状态,
  0号队列为关闭状态。 -->
</entry>
<entry>
  <time_slot>1</time_slot>
  <gate_state>255</gate_state>
</entry>
<entry>
  <time_slot>2</time_slot>
  <gate_state>255</gate_state>
</entry>
<entry>
  <time_slot>3</time_slot>
  <gate_state>255</gate_state>
</entry>

```

图 4-5 TSN 交换机 2 门控表配置

4.3.3 操作步骤

时间敏感流量的确定性传输测试的具体操作步骤如下：

- 1) 在 4.1 章节的基础上进行；
- 2) 根据图 4-2、图 4-3、图 4-4、图 4-5 和表 4-2 配置好表项；
- 3) 运行 TSN 测试仪控制器，执行“./tester_ui”，在 TSN 测试仪控制器界面，配置并发送映射好的 3 条各 100M 的混合流量，配置试例见图 4-6、图 4-7，点击开始测试；

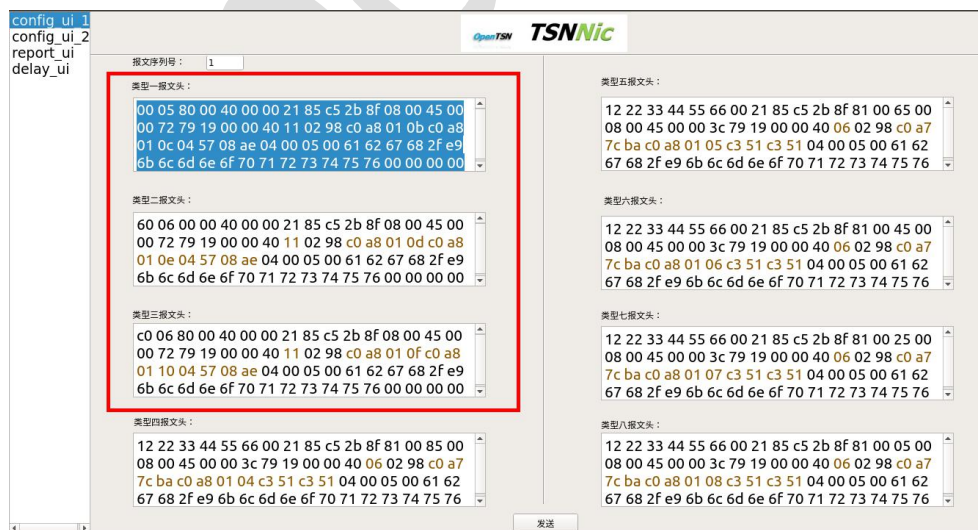


图 4-6 TSN 测试仪配置界面 1

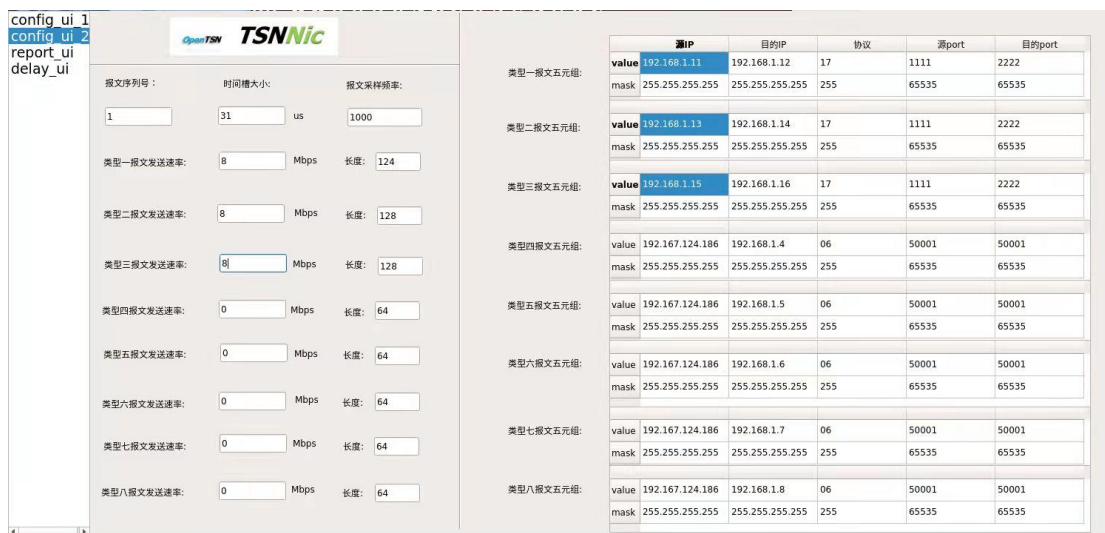


图 4-7 TSN 测试仪配置界面 2

- 4) 在 TSN 测试仪测试过程中后，即可在 TSN 测试仪控制器界面查看流量的时延抖动，点击停止测试，即可查看流量的丢包情况。

4.3.4 测试结果

混合流量经过网络传输，其中时间敏感流量的端到端延时小，抖动也小，并且流量的丢包数为 0，测试结果符合预期。

4.4 门控测试

4.4.1 预期结果

根据 XML 文本，将时间槽大小设置为 32us，将时间槽门控由全开设置为流量进入时间槽关闭，例如原本门控为 255，即 1111 1111 门控全开，在测试门控开关时，将对应时间槽门控设置为 191 即 1011 1111，预期结果延时 32us 左右。

4.4.2 参数配置

将交换机 1 的 1 号端口的门控表修改，XML 配置文本修改如下：

```
<gate_control_list_table>
  <port_id>1</port_id><!-- 1号端口门控表 -->
  <entry>
    <time_slot>0</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
  <entry>
    <time_slot>1</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
  <entry>
    <time_slot>2</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
  <entry>
    <time_slot>3</time_slot>
    <gate_state>191</gate_state>
  </entry>
</gate_control_list_table>
<gate_control_list_table>
  <port_id>2</port_id><!-- 2号端口门控表 -->
  <entry>
    <time_slot>0</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
  <entry>
    <time_slot>1</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
  <entry>
    <time_slot>2</time_slot>
    <gate_state>255</gate_state>
  </entry>
```

图 4-8 local_cfg_xml 修改部分

4.4.3 操作步骤

在 4.2 与 4.3 的基础上，通过修改 XML 文本，观看测试仪报文传输时延。

4.4.4 测试结果

经测试，在关闭一个时间槽的情况下，传输时延在 32us 左右。符合预期。

4.5 流量优先级测试

4.5.1 预期结果

摄像头视频流量映射成 BE 流量，VLC 视频流量映射成 RC 流量，当 TSN 网络中不拥塞时，摄像头以及 VLC 的视频流量均可正常传输播放；当 TSN 网络中拥塞时，摄像头视频流量会迟滞卡顿，而 VLC 视频流量流畅播放，并且网络恢复不拥塞时，摄像头视频流量也会恢复流畅播放。

4.5.2 参数配置

摄像头实时监控视频流量测试的表项配置在于视频流量的映射和重映射，交换机详细配置详见表 4-3，网卡表项见图 4-9、图 4-10。

表 4-3 摄像头实时监控视频流量测试配置表项

TSN 交换机 1 配置		
转发表 forward_table		
序号	Flow_id	Outport
1	8	1
2	9	4
3	22	1
TSN 交换机 2 配置		
转发表 forward_table		
	Flow_id	Outport
1	8	8
2	9	2

3	22	8
---	----	---

```

<RX_FL-tag_remapping_table>  <!-- TSN网卡2的逆映射表 -->
<entry> <!-- 重映射表 -->
  <remap_id>0</remap_id>      <!-- 重映射表的id号，表示第0个重映射表 -->
  <flow_id>8</flow_id>
  <dmac>BC:BA:C2:F3:F0:D0</dmac>  <!-- 摄像头MAC -->
  <outport>3</outport>
</entry>
<entry>
  <remap_id>1</remap_id>      <!-- 重映射表的id号，表示第1个重映射表 -->
  <flow_id>22</flow_id>
  <dmac>E8:6A:64:C4:96:FF</dmac>  <!-- vlc接收端的MAC-->
  <outport>8</outport>
</entry>
<entry>
  <remap_id>2</remap_id>      <!-- 重映射表的id号，表示第2个重映射表 -->
  <flow_id>4308</flow_id>
  <dmac>E8:6A:64:C4:96:FF</dmac>
  <outport>8</outport>
</entry>
<entry>
  <remap_id>3</remap_id>      <!-- 重映射表的id号，表示第3个重映射表 -->
  <flow_id>14709</flow_id>
  <dmac>BC:BA:C2:F3:F0:D0</dmac>
  <outport>8</outport>
</entry>
</RX_FL-tag_remapping_table>

```

图 4-9 TSN 网卡 2 配置

```

<RX_FL-tag_remapping_table>  <!-- TSN网卡1的逆映射表 -->
<entry> <!-- 重映射表 -->
  <remap_id>0</remap_id>      <!-- 重映射表的id号，表示第0个重映射表 -->
  <flow_id>9</flow_id>
  <dmac>C0:04:80:00:00:00</dmac>
  <outport>8</outport>
</entry>
</RX_FL-tag_remapping_table>

```

图 4-10 TSN 网卡 1 配置

4.5.3 操作步骤

摄像头视频流量测试的具体操作步骤如下：

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 2-1 配置好终端设备；
- 2) 根据图 4-9(在 XML 文本“local_cfg.xml”中，按实际接入网络的摄像头的 MAC 进行修改)、图 4-9 和表 4-3 配置好表项；

- 3) 在集中控制器终端，运行集中控制器软件 TSNLight3.2，执行“./tsnlight net_interface”。（具体运行方式参考 2.4 章节）
- 4) 启动摄像头，在摄像头接收端运行“ivms-4200 客户端”，将摄像头设备添加到客户端中，点击播放监控画面，如没有实时画面，请刷新设备；
- 5) 在 VLC 视频发送端打开 VLC 播放软件，选择需要进行推流的视频，推流的格式选择 UDP 格式，然后在 VLC 视频接收端进行 VLC 视频接收；
- 6) 此时观察摄像头实时监控画面以及 VLC 视频应正常播放；
- 7) 运行 TSN 测试仪控制器，执行“./tester_ui”，在 TSN 测试仪控制器界面，配置并发送映射好的 3 条混合流量，其中 ST 流量 100M、RC 流量 500M、BE 流量 1000M，配置试例见图 4-11、图 4-12；

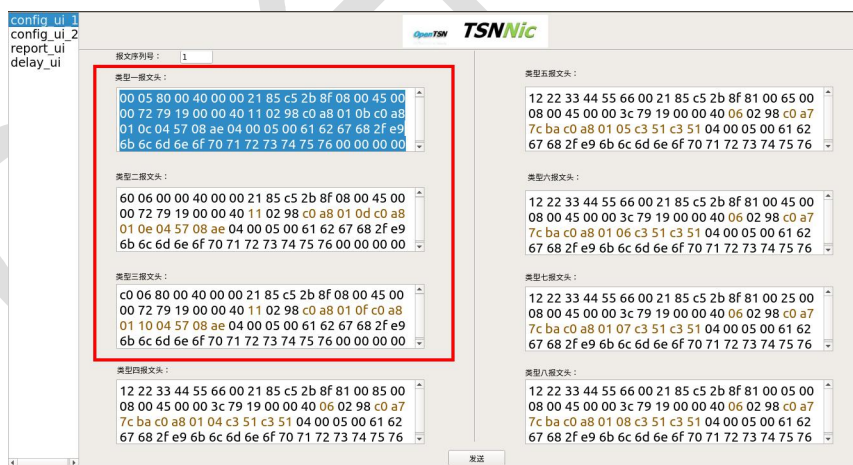


图 4-11 TSN 测试仪配置界面 3



图 4-12 TSN 测试仪配置界面 4

- 8) 点击开始测试，应该可以看到摄像头视频明显迟滞卡顿，VLC 视频流畅播放，点击停止测试，应该可以看到 VLC 视频流畅播放，摄像头流量恢复流畅播放。

4.5.4 测试结果

摄像头视频流量映射成 BE 流量，VLC 视频流量映射成 RC 流量，当 TSN 网络中不拥塞时，摄像头以及 VLC 的视频流量均可正常传输播放；当 TSN 网络中拥塞时，摄像头视频流量会迟滞卡顿，而 VLC 视频流量流畅播放，并且网络恢复不拥塞时，摄像头视频流量也会恢复流畅播放。

附录 1：软件运行环境搭建

软件需要使用 Linux 设备运行（建议使用 Ubuntu16.04LTS），并且需要安装 libnet、libpcap 以及 libxml 库。

本文提供两种方式供用户选择

方式一：使用 OpenTSN 提供的虚拟机运行集中控制器。

为了方便用户能够尽快搭建运行环境，减少因为搭建环境花费的时间，在百度网盘中提供已配置的虚拟机，下面具体介绍搭建虚拟机的步骤。

（1）下载百度网盘中的文件

从百度网盘中下载全部文件。

（2）安装 VirtualBox-5.2.14-123301-Win

首选需要安装 VirtualBox 软件，安装后可以在该软件下导入需要安装的虚拟机。

（3）导入虚拟机

在 VirtualBox 中导入下载的虚拟机，首先在界面中点击“管理”，在管理中选择“导入虚拟电脑”，然后选择需要导入的文件（从百度网盘中下载的文件），然后选择“导入”。导入大约需要花费 5 分钟左右。

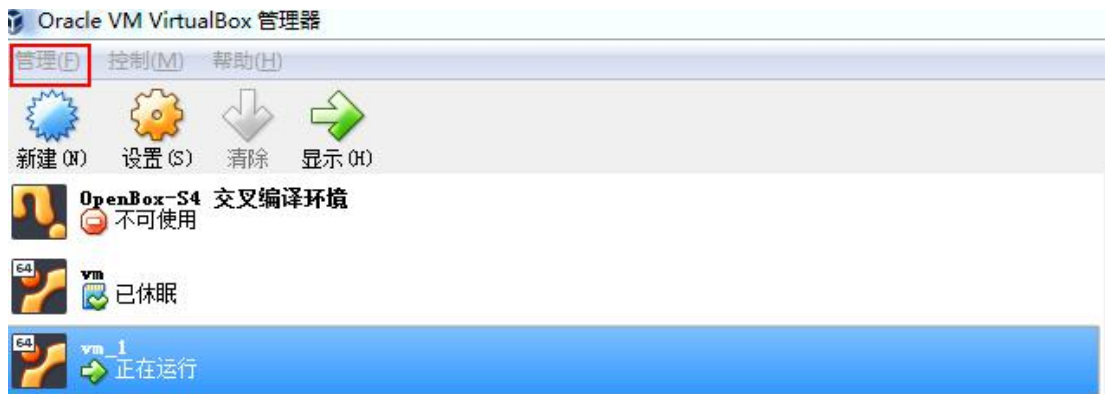


图 A-1 管理选项

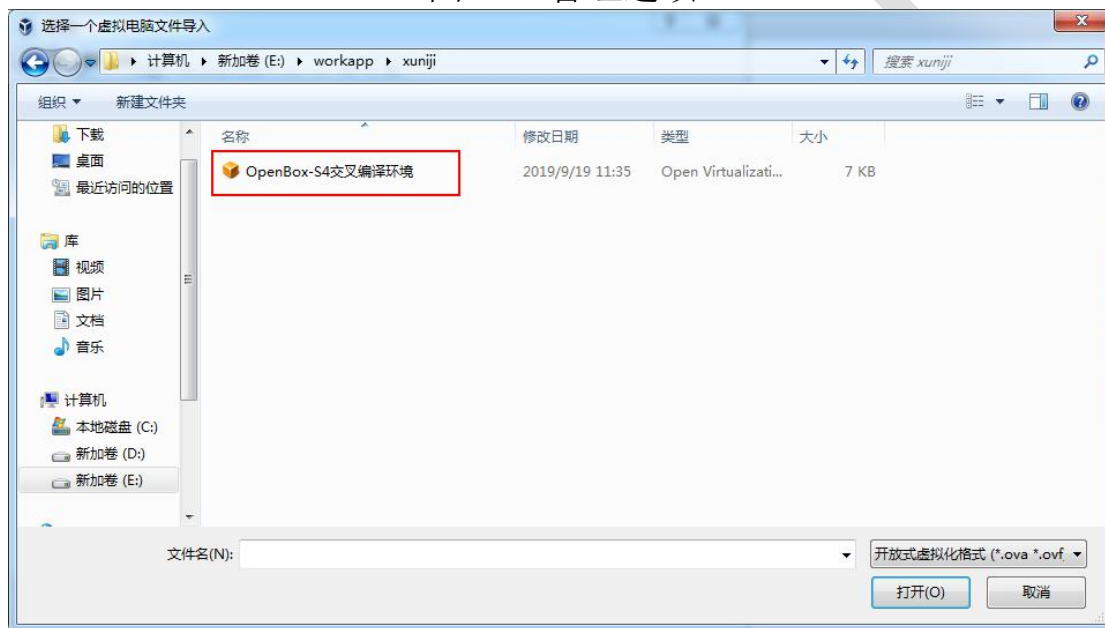


图 A-2 需要导入的文件

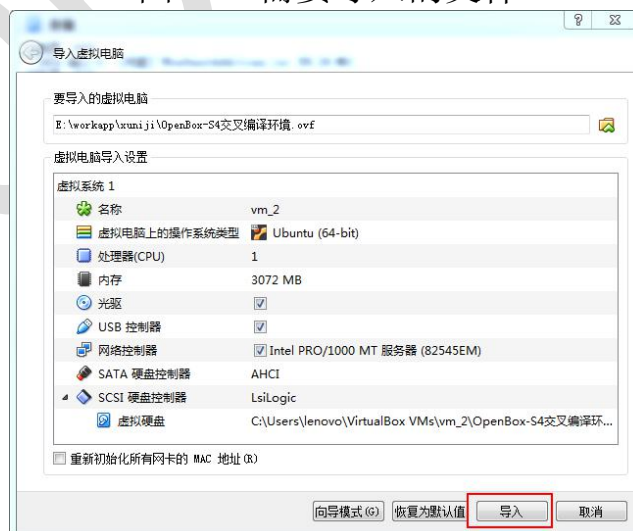


图 A-3 确认导入

(4) 虚拟机设置

导入成功后，需要对虚拟机进行设置。在 vbox 界面，点击“设置”，依次对存储、网络、共享文件夹进行设置。



图 A-4 虚拟机设置



图 A-5 设置内容

设置存储，添加虚拟硬盘，依次按照红色方框进行选择。

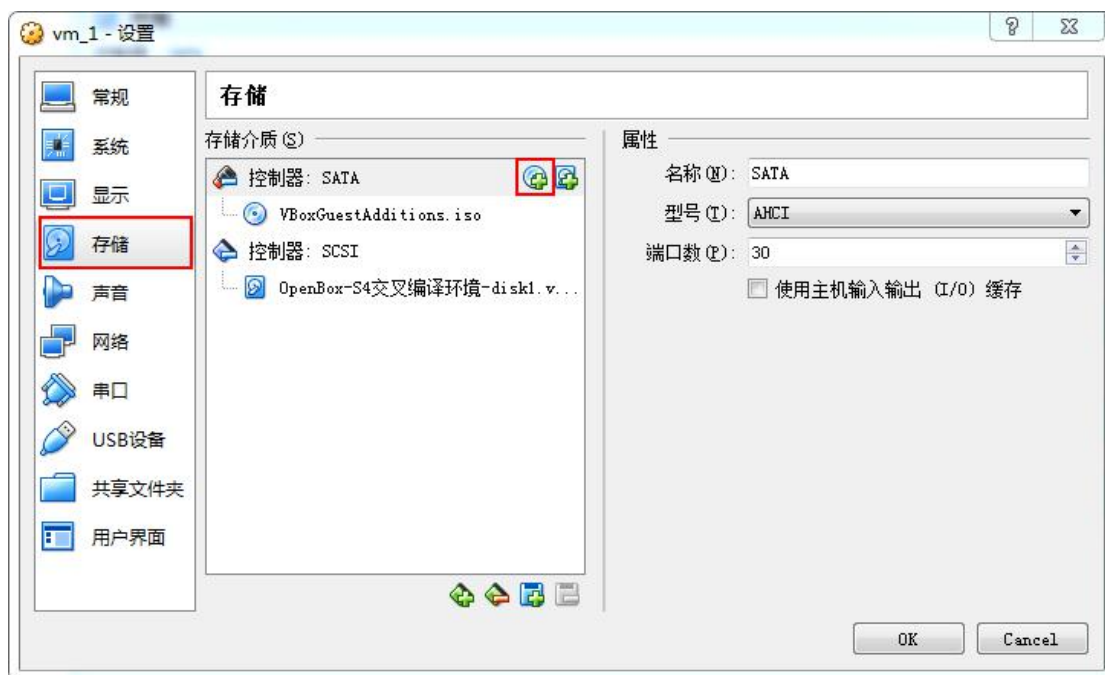


图 A-6 存储设置

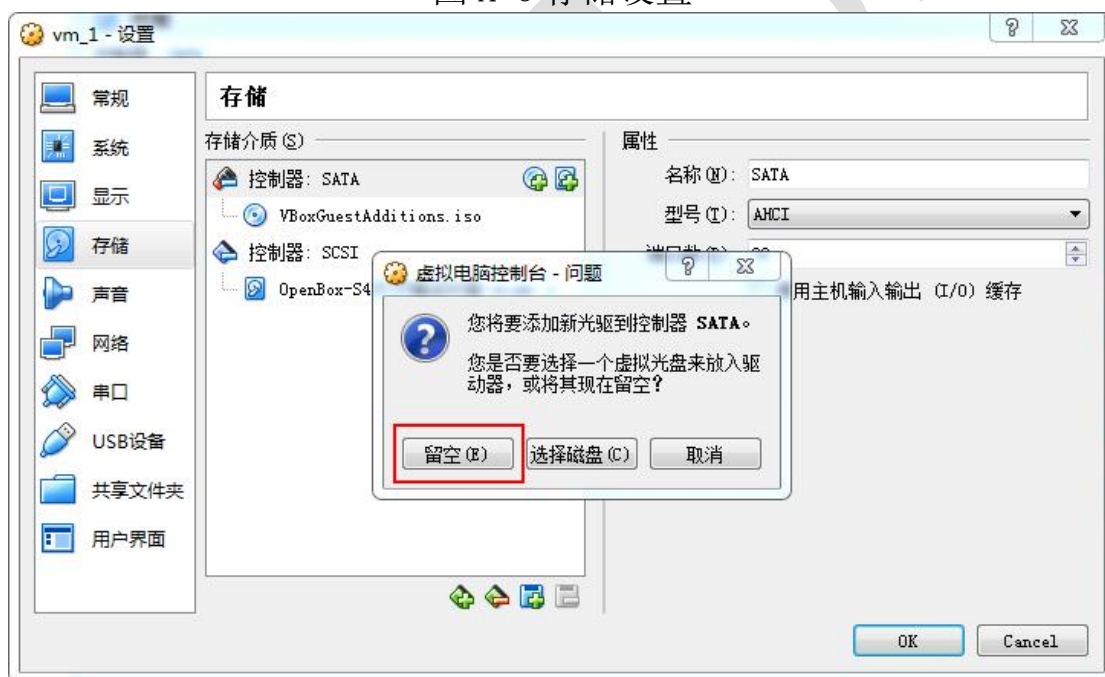


图 A-7 选择留空

设置网络，需要设置混杂模式，以便能够捕获到所有报文。



图 A-8 网卡设置

设置共享文件夹，用于 Windows 主机与虚拟机共享文件。

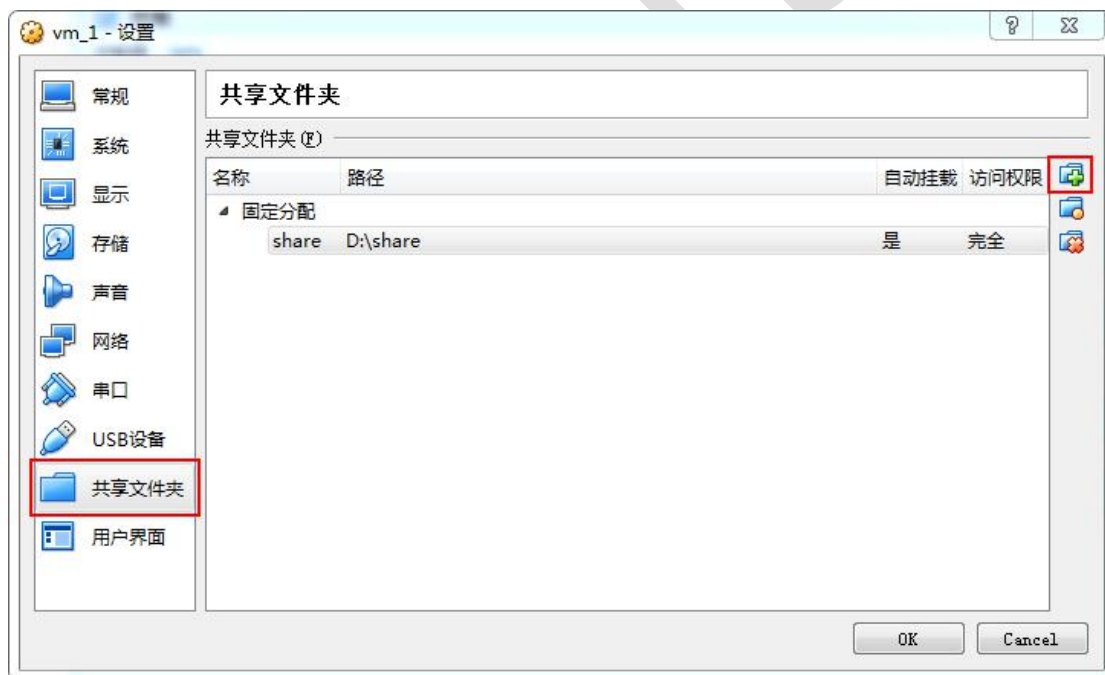


图 A-9 共享文件夹设置

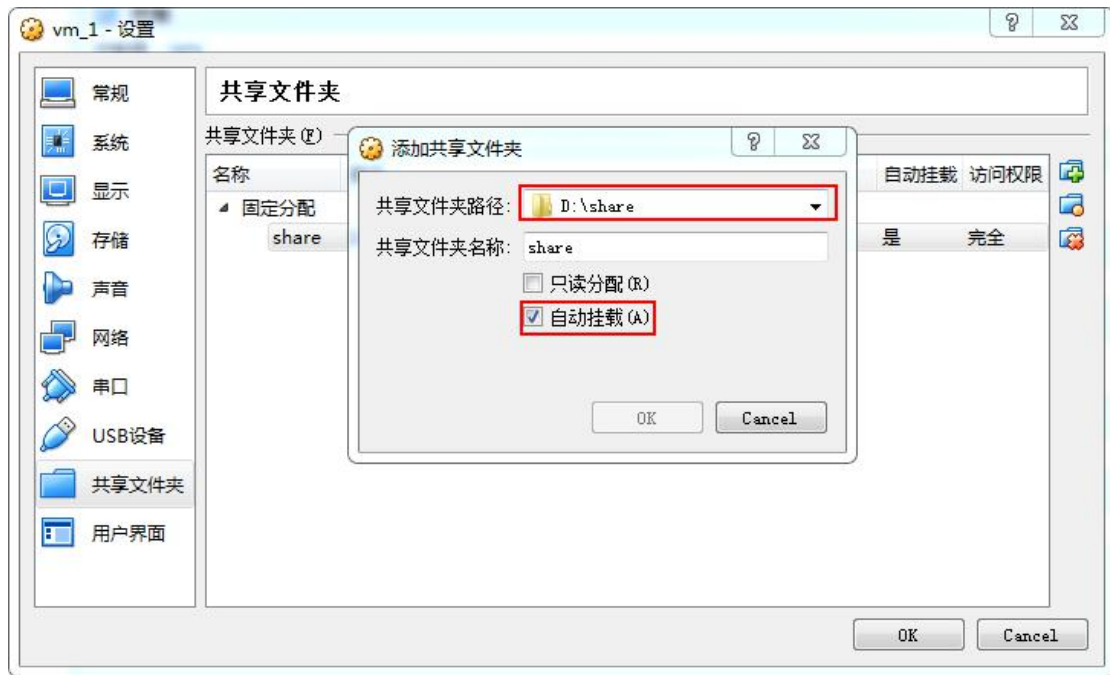


图 A-10 共享文件夹选项

(5) 进入虚拟机

然后打开虚拟机，打开时选择“无界面启动”，如正常启动电脑一样，启动后需要输入密码进入系统，密码为“970904”



图 A-11 无界面启动

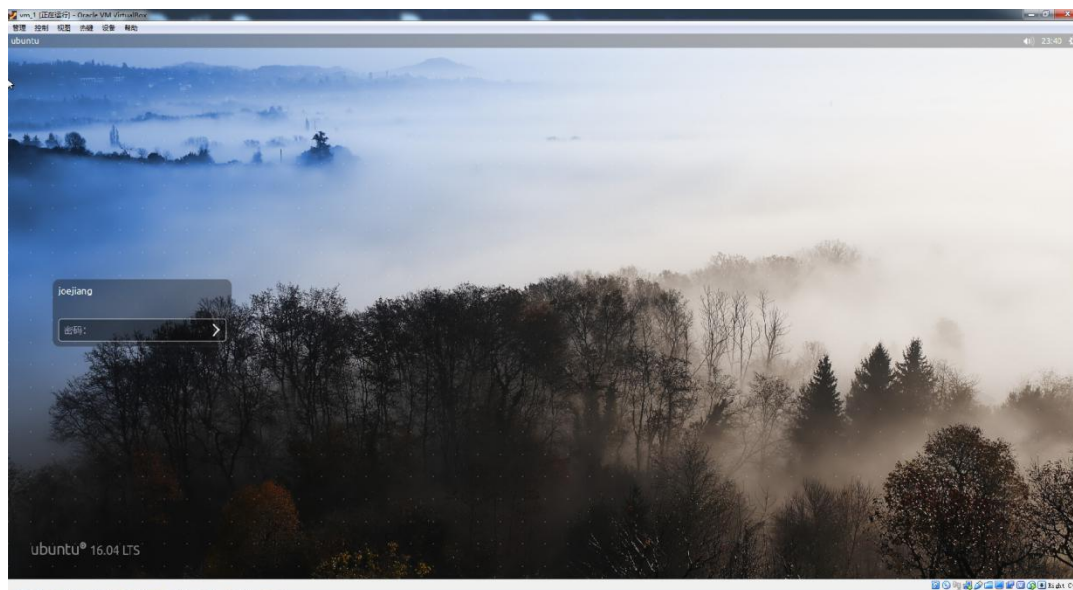


图 A-12 虚拟机启动画面

在进入系统后安装增强功能，在选择设备后，点击“安装增强功能”，然后一直“enter”键进行下一步，直至安装成功。



图 A-13 安装增强功能

(6) 设置共享文件夹

输入“sudo su”进入 root 权限，输入密码“970904”

输入“mount -t vboxsf share /mnt/hgfs”其中 share 为共享文件夹的名称，然后 Windows 主机与虚拟机共享 share 文件夹

输入“cd /mnt/hgfs”进入共享文件夹。

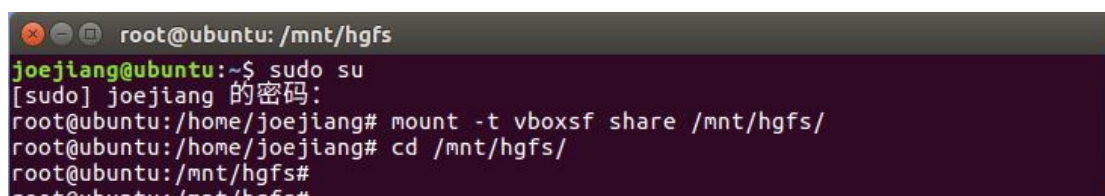


图 A-14 虚拟机共享文件夹设置

(7) 运行应用程序

把需要在虚拟机运行的应用拷贝到 Windows 主机中的 share 文件夹下，在虚拟机运行相应的应用程序。以运行 TSNLight3.0 为例介绍运行顺序。

首先输入 “`cd /mnt/hgfs/TSNLight3.2`” 进入集中控制器 TSNLight3.2 应用下；

然后输入 “`ifconfig`” 查看网卡名称，网卡名称为 `enp0s17`；

最后输入 “`./tsnlight enp0s17`” 执行集中控制器程序。

方式二：在本地的虚拟机或者 Linux 设备中运行集中控制器。

该方式不需要重新安装虚拟机，但需要在已有的虚拟机或者 Linux 设备安装软件运行时需要的库，分别为 `libpcap`、`libnet` 以及 `libxml2`。安装后需要设置网卡为混杂模式，以便 `libpcap` 能够捕获到所有报文。

注意事项：

- (1) 在运行软件时需要使用 root 权限；
- (2) 如果没有可执行文件没有权限，以 `tsnlight` 为例，需要赋予 `tsnlight` 可执行权限，输入 “`chmod 777 tsnlight`”。