



警示

1. 实验报告如有雷同，雷同各方当次实验成绩均以 0 分计。
2. 当次小组成员成绩只计学号、姓名登录在下表中的。
3. 在规定时间内未上交实验报告的，不得以其他方式补交，当次成绩按 0 分计。
4. 实验报告文件以 PDF 格式提交。

院系	计算机科学与技术	班 级	超级计算方向	组长	林天皓
学号	18324034				
学生					
实验分工					
林天皓	所有内容				

【实验题目】端口聚合实验

【实验目的】理解链路聚合的配置及原理。

【实验内容】

- (1) 完成实验教程第三章实验 6-5 的实验，回答实验提出的问题及实验思考。(P187)
- (2) 端口聚合和生成树都可以实现冗余链路，这两种方式有什么不同？
- (3) 你认为本实验能实现负载平衡吗？如果不能，请讨论原因并设计方法，进行实验验证。

【实验要求】

一些重要信息需给出截图，注意实验步骤的前后对比。

【实验原理】

在使用多台交换组成一个局域网时，由于很多数据流量是跨过交换机进行转发的，因此需要提高交换机之间的传输带宽，并实现链路冗余备份，为此网络管理员在两台交换机之间采用两根网线互连，并将相应的两个端口聚合为一个逻辑端口，现要在交换机上做适当的配置来实现这一目标。

端口聚合 (Aggregate-port) 又称链路聚合，是指两台交换机之间在物理上将多个端口连接起来，将多条链路聚合成一条逻辑链路。从而增大链路带宽，解决交换网络中因带宽引起的网络瓶颈问题。多条物理链路之间能够相互冗余备份，其中任意一条链路断开，不会影响其它链路的正常转发数据。

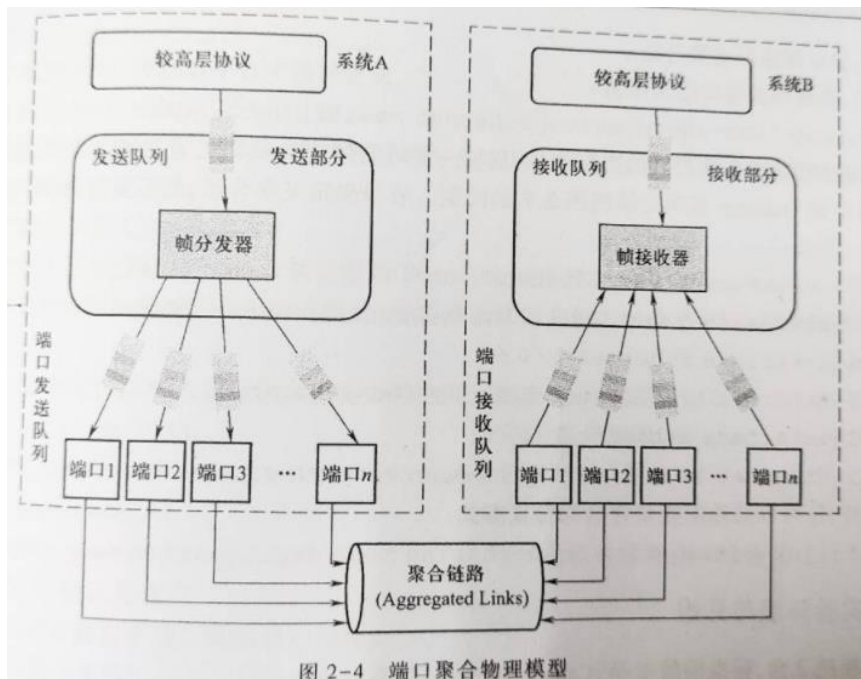


图 0- 聚合链路物理模型

当交换机 A 要向交换机 B 通过聚合链路进行数据传输时，从上层协议封装而来的数据帧进行排队，然后通过帧分发器按照一定的规则将帧分发到不同的端口发送队列分别进行发送。

【实验过程与结果】

本次实验中使用的网络拓扑与实验教材中的一致。如下图。

本实验的拓扑结构如图 6-20 所示。

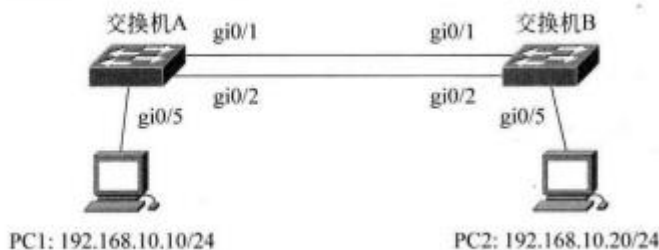


图 6-20 端口聚合实验拓扑

图 1-实验网络拓扑

根据实验要求，我们首先要配置完毕端口聚合后再连接交换机之间的端口，否则会产生网络风暴。

下面开始配置网络端口聚合

1.开启 windows 共享文件夹



图 2-开启 windows 网络共享

先向 windows 中添加用户 myuser，然后创建文件夹，并将该用户添加为共享的用户列表中

接下来需要关闭 windows 访问共享文件夹中的密码保护,否则不能访问共享文件夹。

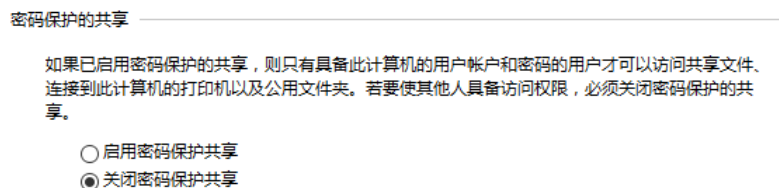


图 3-关闭密码保护共享

然后使用 PC2 就可以访问 PC1 中的共享文件夹。

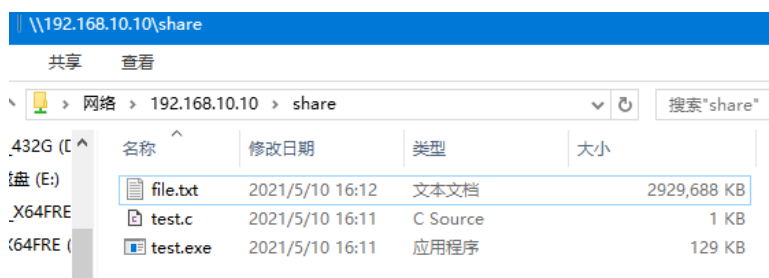


图 4-PC2 通过网络访问 PC1 文件夹

使用的传输文件属性如下：

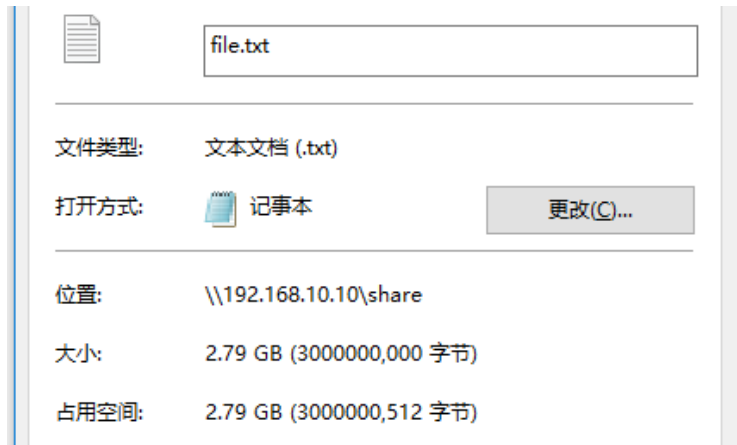


图 5-传输文件属性

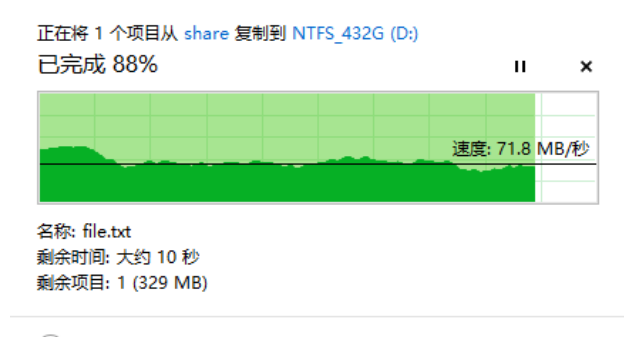


图 6-传输文件速度

传输过程中，windows 显示的峰值速度约 110MBps。

下面通过 wireshark 查看统计信息，平均传输速度为 413Mbps，传输时间为 46 秒

接口				
接口	丢弃分组	捕获过滤器	链路类型	分组大小限制
以太网 4	734128 (32.3%)	无	Ethernet	262144 字节
统计				
测量	已捕获	已显示	标记	
分组	2270356	2270356 (100.0%)	—	
时间跨度, s	46.621	46.621	—	
平均 pps	48698.0	48698.0	—	
平均分组大小, B	1061	1061	—	
字节	2408464569	2408464569 (100.0%)	0	
平均 字节/秒	51M	51M	—	
平均 比特/秒	413M	413M	—	

图 7-wireshark 显示的网络速度

接下来配置交换机的端口聚合。

1.配置交换机 A 和交换机 B 的 vlan 10



```
14-S5750-1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
14-S5750-1(config)#vlan 10
14-S5750-1(config-vlan)#name sales
14-S5750-1(config-vlan)#exit
14-S5750-1(config)#interface gigabitethernet 0/5
14-S5750-1(config-if-GigabitEthernet 0/5)#switchport access vlan 10
```

图 8-配置交换机 A vlan

```
14-S5750-2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
14-S5750-2(config)#vlan 10
14-S5750-2(config-vlan)#name sales
14-S5750-2(config-vlan)#exit
14-S5750-2(config)#interface gigabitethernet 0/5
14-S5750-2(config-if-GigabitEthernet 0/5)#switchport access vlan 10
```

图 9-配置交换机 B vlan

2. 分别在交换机 A 和交换机 B 创建聚合端口

交换机 A

```
14-S5750-1(config-if-GigabitEthernet 0/5)#interface aggregateport 1
14-S5750-1(config-if-AggregatePort 1)#switchport mode trunk
14-S5750-1(config-if-AggregatePort 1)#exit
14-S5750-1(config)#interface range gigabitethernet 0/1-2
14-S5750-1(config-if-range)#port-group 1
%Warning: the link aggregation of port GigabitEthernet 0/1 may not match with its neighbor.
14-S5750-1(config-if-range)#*May 10 17:03:55: %LLDP-4-ERRDETECT: Link aggregation for the port GigabitEthernet 0/1 may not match with one for the neighbor port.
*May 10 17:03:57: %LINK-3-UPDOWN: Interface AggregatePort 1, changed state to up.
*May 10 17:03:57: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface AggregatePort 1, changed state to up.
show aggregatePort summary
AggregatePort MaxPorts SwitchPort Mode Ports
-----
Ag1            8        Enabled   TRUNK Gi0/1 ,Gi0/2
```

图 10-配置交换机 A 端口聚合

交换机 B

```
14-S5750-2(config-if-GigabitEthernet 0/5)*May 10 16:57:42: %LLDP-4-ERRDETECT: Link aggregation for the port GigabitEthernet 0/1 may not match with one for the neighbor port.
interface aggregateport 1
14-S5750-2(config-if-AggregatePort 1)#switchport mode trunk
14-S5750-2(config-if-AggregatePort 1)#exit
14-S5750-2(config)#interface range gigabitethernet 0/1-2
14-S5750-2(config-if-range)#port-group 1
14-S5750-2(config-if-range)*May 10 16:59:45: %LINK-3-UPDOWN: Interface AggregatePort 1, changed state to up.
*May 10 16:59:45: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface AggregatePort 1, changed state to up.
show aggregatePort 1 summary
AggregatePort MaxPorts SwitchPort Mode Ports
-----
Ag1            8        Enabled   TRUNK Gi0/1 ,Gi0/2
```

图 11-配置交换机 B 端口聚合

完成后进行测试

Wireshark 捕获的信息如下:



接口
以太网 4

丢弃分组
852898 (41.2%)

捕获过滤器
无

链路类型
Ethernet

分组大小限制
262144 字节

统计

测量	已捕获	已显示	标记
分组	2071341	2071341 (100.0%)	—
时间跨度, s	45.657	45.657	—
平均 pps	45367.0	45367.0	—
平均分组大小, B	1069	1069	—
字节	2213335862	2213335862 (100.0%)	0
平均 字节/秒	48M	48M	—
平均 比特/秒	387M	387M	—

图 12-配置端口聚合后网络传输速度

其中时间为 45 秒,平均速度为 387Mbps,但是由于 wireshark 捕获的数据包并不完整,仅有 2.2G 字节,这与文件 2.8G 的容量是不符合的,因此直接计算网络速度为 666Mbps

测试项	端口聚合前	端口聚合后
端口速度	1000Mbps	1000Mbps
聚合端口理论最大传输速度	1000Mbps	2000Mbps
聚合端口实测最大传输速度	652Mbps	666Mbps
传输时间	46 秒	45 秒
聚合端口的流量平衡模式	无	MAC 地址

表 1-端口聚合前后传输对比

综上本次实验完成了对交换机端口进行端口聚合,并通过和 windows 局域网内文件传输检验端口聚合的效果。

验证:

(1) 如同步骤 0,在 PC1 上传送文件包,注意观察包数量的变化,记录数据传送时间并分别与实验前的数据做比较,能得出什么结论?链路聚合的带宽是否增大?如果没有增大,分析是什么原因引起的并提出解决的办法。



Wireshark I/O Graphs: 以太网 4

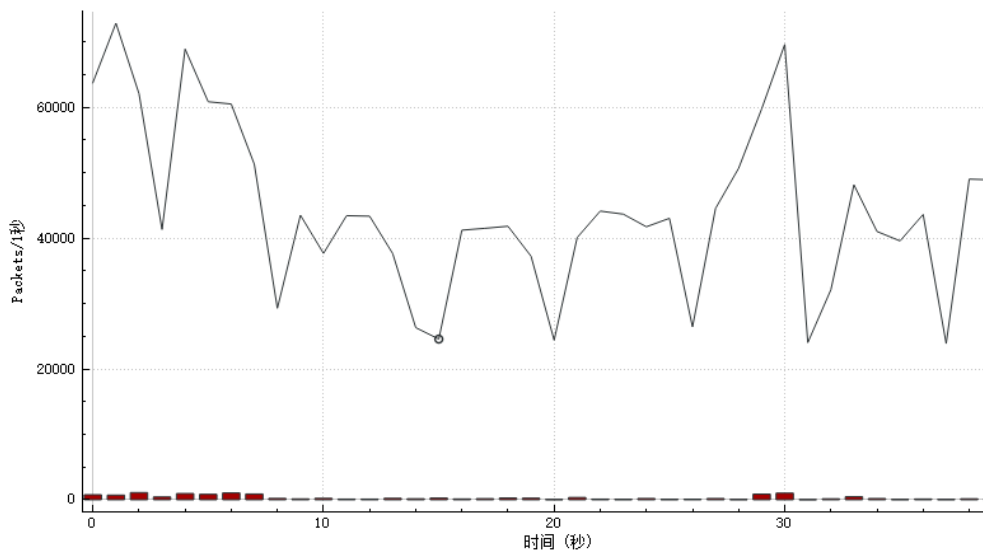


图 13-链路聚合后的 io 数量图

包数量的时间图如上，从一开始的 60000 包每秒到后续最低 25000 包每秒，出现波动较大。链路聚合的带宽并没有明显的增大。

1. 链路速度没有提升

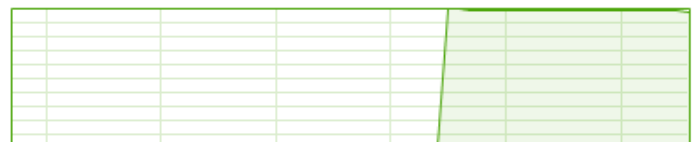
首先是 PC 到交换机之间的链路速度并没有提升，还是 1000Mbps，因此并不会提升两台 PC 之间的传输速度上限。

2. 磁盘瓶颈更是影响速度的关键

同时这会受到磁盘速度的瓶颈影响。

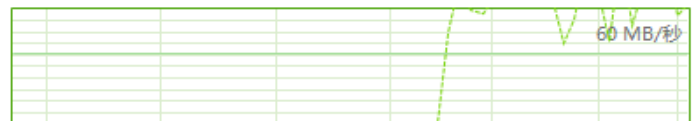
磁盘 0 (C: D: E:) ST1000DM003-1SB102

活动时间 100%



60 秒 0

磁盘传输速率 100 MB/秒



60 秒 0

活动时间 平均响应时间

99% 766 毫秒

容量: 932 GB

已格式化: 924 GB

系统磁盘: 是

页面文件: 是

读取速度 写入速度

0 KB/秒 160 MB/秒



图 14-磁盘负载满载

如上图所示，在运行的全过程中，磁盘占用保持 100%，的高占用，从而显示了通过磁盘向网络传输文件的上限。

(2) 在本实验中，如何判断哪条链路正在输传输数据？

答：通过 show interfaces counters rate 可查看每个端口具体的流量。

```
14-S5750-2(config-if-range)#show interfaces counters rate
```

Interface	Sampling Time	Input Rate (bits/sec)	Input Rate (packets/sec)	Output Rate (bits/sec)	Output Rate (packets/sec)
Gi0/1	5 seconds	1479	0	1667	0
Gi0/2	5 seconds	126032857	10362	2610394	4772
Gi0/3	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/4	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/5	5 seconds	2459232	4772	125704494	10362

图 15-端口 2 为主要传输端口

如上图，可以判断当前是 2 端口正在传输数据。

(3) 链路聚合的动态备份：当交换机之间的一条链路断开时，PC1 与 PC2 仍能互相通信。

```
C:\Users\Administrator>ping 192.168.10.20 -t
```

正在 Ping 192.168.10.20 具有 32 字节的数据:

来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64
来自 192.168.10.20 的回复:	字节=32 时间<1ms TTL=64

图 16-PC1 ping PC2 断开一链路无丢包

答：通过 ping PC2，可见拔出端口后 PC 间还能正常通信。

将两条跳线中的其中任何一根拔掉后，发现 PC 间还可以正常通信，这是否说明链路聚合的动态备份有效？拔线过程有无丢包现象？



答：在一次传输过程中交替拔线，可见全程流量并没有出现中断，这说明链路聚合的动态备份有效，拔线过程没有丢包现象发生。

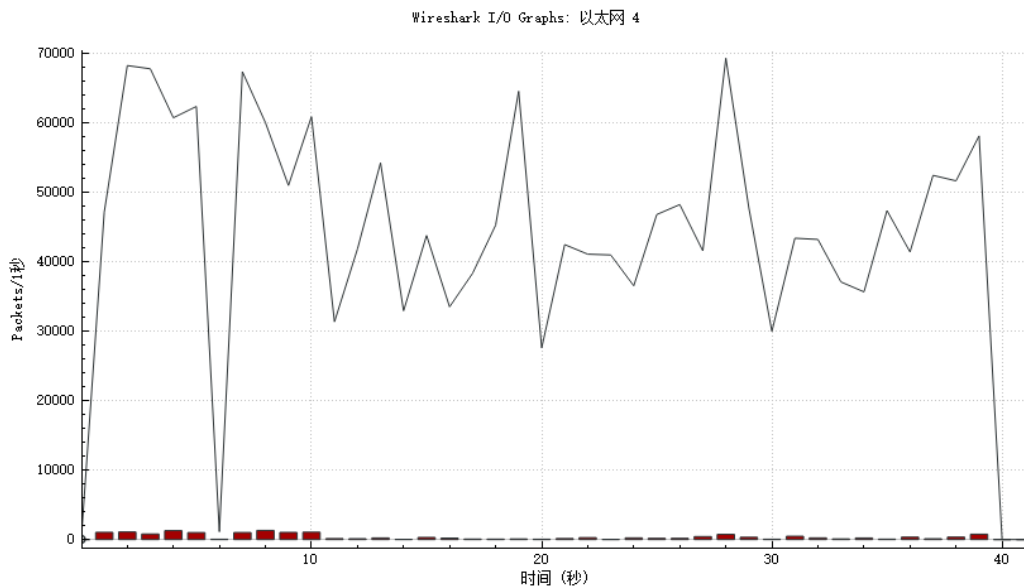


图 17-PC1 传输 PC2 的 io 流量图

重做步骤 5 验证 (1)，监控窗口停留在图 3-18 上，在数据传送过程中，拔掉端口 1 (或 2) 的电缆线，观察 Packets、Packets/s 是否有变化？

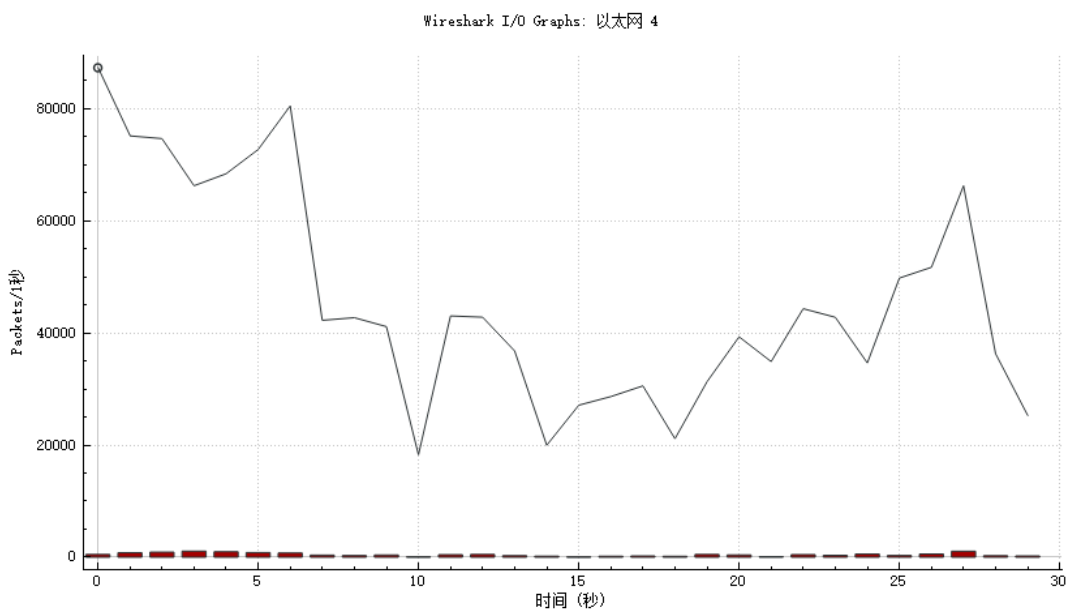


图 18-断开端口为 1 的链路 (第 10 秒时)

在上图中第 10 秒时，拔出了端口 1 上的网线，可见网络包数量先经过了短暂的下降，然后恢复到以前的状态。



(4) 查看聚合端口：show interface aggregateport 1.

```
14-S5750-2#show interfaces aggregateport 1
Index(dec):29 (hex):1d
AggregatePort 1 is UP , line protocol is UP
Hardware is Aggregate Link AggregatePort
Interface address is: no ip address
MTU 1500 bytes, BW 2000000 Kbit
Encapsulation protocol is Bridge, loopback not set
Keepalive interval is 10 sec , set
Carrier delay is 2 sec
Rxload is 1/255, Txload is 1/255
Switchport attributes:
  interface's description:""
  admin medium-type is Copper, oper medium-type is Copper
  lastchange time: 0 Day: 1 Hour:25 Minute: 2 Second
  current status duration: 0 Day: 1 Hour:33 Minute: 8 Second
  Priority is 0
  admin duplex mode is AUTO, oper duplex is Full
  admin speed is AUTO, oper speed is 1000M
  flow control admin status is OFF, flow control oper status is OFF
  admin negotiation mode is OFF, oper negotiation state is OFF
  Storm Control: Broadcast is ON, Multicast is OFF, Unicast is ON
Port-type: trunk
  Native vlan: 1
  Allowed vlan lists: 1-4094
  Active vlan lists: 1,10
Aggregate Port Informations:
  Aggregate Number: 1
  Name: "AggregatePort 1"
  Refs: 2
  Members: (count=2)
    GigabitEthernet 0/1      Link Status: Up
    GigabitEthernet 0/2      Link Status: Up
5 minutes input rate 1794 bits/sec, 0 packets/sec
5 minutes output rate 1686 bits/sec, 0 packets/sec
20424907 packets input, 31068500978 bytes, 0 no buffer, 0 dropped
Received 823 broadcasts, 0 runs, 2 giants
2 input errors, 0 CRC, 0 frame, 0 overrun, 0 abort
9539704 packets output, 653172655 bytes, 0 underruns , 0 dropped
```

图 19-查看聚合端口信息

除了作为 switchport 的信息之外，还可以查看聚合端口的相关信息。

通过查看聚合端口的信息，可以查看到

端口的编号：1

端口的名称：AggregatePort 1，

端口的成员端口 GigabitEthernet 0/1 GigabitEthernet 0/2，

成员端口的状态 UP

5 分钟内网络数据包速度和流量等等信息。



(5) 查看成员端口：show interface gigabitEthernet 0/1.

```
14-S5750-2#show interfaces gigabitEthernet 0/1
Index(dec):1 (hex):1
GigabitEthernet 0/1 is UP, line protocol is UP
Hardware is Broadcom 5464 GigabitEthernet
Interface address is: no ip address
MTU 1500 bytes, BW 1000000 Kbit
Encapsulation protocol is Bridge, loopback not set
Keepalive interval is 10 sec , set
Carrier delay is 2 sec
Rxload is 1/255, Txload is 1/255
Switchport attributes:
  interface's description: ""
  admin medium-type is Copper, oper medium-type is Copper
  lastchange time: 0 Day: 0 Hour:22 Minute:40 Second
  current status duration: 0 Day: 2 Hour:36 Minute: 6 Second
  Priority is 0
  admin duplex mode is AUTO, oper duplex is Full
  admin speed is AUTO, oper speed is 1000M
  flow control admin status is OFF, flow control oper status is OFF
  admin negotiation mode is OFF, oper negotiation state is ON
  Storm Control: Broadcast is ON, Multicast is OFF, Unicast is ON
  5 minutes input rate 171 bits/sec, 0 packets/sec
  5 minutes output rate 171 bits/sec, 0 packets/sec
  22911383 packets input, 15803582043 bytes, 0 no buffer, 0 dropped
  Received 15164 broadcasts, 0 runs, 1 giants
  1 input errors, 0 CRC, 0 frame, 0 overrun, 0 abort
  4204654 packets output, 279112748 bytes, 0 underruns , 0 dropped
  0 output errors, 0 collisions, 0 interface resets
```

图 20-查看物理端口信息

通过查看聚合端口的信息，可以查看到端口说明，优先级，流控信息，广播和多播控制状态，5 分钟内网络数据包速度和流量等信息。

(7) 查看成员口的速率流量：show interface counters rate/summay.

Interface	Sampling Time	Input Rate (bits/sec)	Input Rate (packets/sec)	Output Rate (bits/sec)	Output Rate (packets/sec)
Gi0/1	5 seconds	602	0	461	0
Gi0/2	5 seconds	1255	0	1206	0
Gi0/3	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/4	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/5	5 seconds	1547	0	1859	0
Gi0/6	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/7	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/8	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/9	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/10	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/11	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/12	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/13	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/14	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/15	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/16	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/17	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/18	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/19	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/20	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/21	5 seconds	0	0	0	0



图 21-查看物理端口网络数据包流量

该命令可以查看各个网络端口 5 分钟内的平均网络数据包速度

```
14-S5750-2#show interfaces counters summary
```

Interface	InOctets	InUcastPkts	InMulticastPkts	InBroadcastPkts
-----	-----	-----	-----	-----
Gi0/1	15803591695	8947952	13948271	15170
Gi0/2	28430741183	18690239	699	80
Gi0/3	0	0	0	0
Gi0/4	0	0	0	0
Gi0/5	837877865	12932551	568	1197
Gi0/6	0	0	0	0
Gi0/7	0	0	0	0
Gi0/8	0	0	0	0
Gi0/9	0	0	0	0
Gi0/10	0	0	0	0
Gi0/11	0	0	0	0
Gi0/12	0	0	0	0
Gi0/13	0	0	0	0
Gi0/14	0	0	0	0
Gi0/15	0	0	0	0

图 22-查看网络数据包数量

该命令可以查看各个网络端口 5 分钟内的平均网络数据包流量

【实验思考】

(1) 在两台交换机上各增加一台计算机 (PC3,PC4)，然后让 PC1 和 PC2、PC3 与 PC4 同时传输数据，观察聚合端口的流量平衡情况。

将两个文件传输，所产生的网络数据包速度如下图。

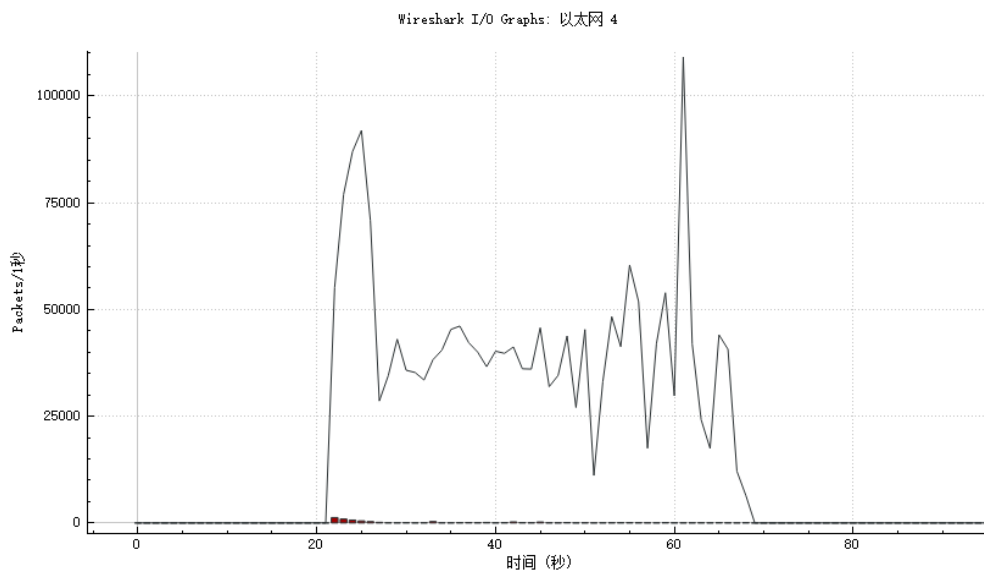


图 23-PC1 传输 PC2 的 io 流量图



Wireshark I/O Graphs: 以太网 4

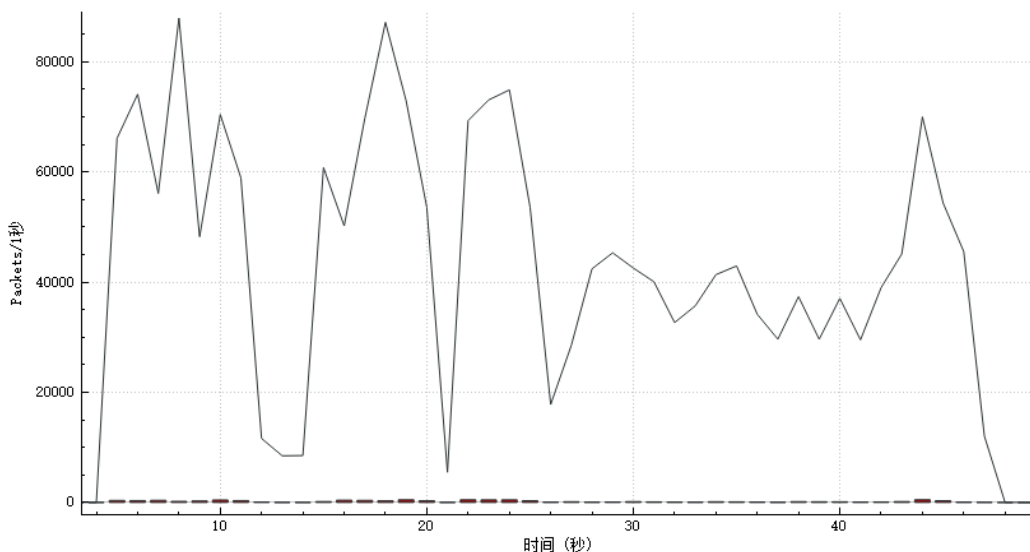


图 24-PC3 传输 PC4 的 io 流量图

通过查看端口的网络数据包速度流量，可以查看网络是否分流。

Interface	Sampling Time	Input Rate (bits/sec)	Input Rate (packets/sec)	Output Rate (bits/sec)	Output Rate (packets/sec)
Gi0/1	5 seconds	131220534	10778	2741270	5012
Gi0/2	5 seconds	246083547	20214	5148648	9415
Gi0/3	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/4	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/5	5 seconds	7428160	14429	376313853	30993
Gi0/6	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/7	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/8	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/9	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/10	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/11	5 seconds	0	0	0	0
Gi0/12	5 seconds	0	0	0	0

图 25-查看端口 1 和端口 2 的网络数据包流量

可见与前文中只用一个端口的状态不同，这次传输中端口 1 和端口 2 都有相当的数据传输，因此聚合端口已经分流了这些传输的流量。

(2) 如何验证聚合端口的负载平衡方式？

通过 show aggregatePort load-balance 可以验证聚合端口的负载平衡方式。

```
14-S5750-2#show aggregatePort load-balance
Load-balance : Source MAC and Destination MAC
```

图 26-查看端口聚合的网络流量平衡模式

在这种方式下，网络数据会根据数据包的来源 mac 地址和目的地 mac 地址进行网络分流，例如在上一题中，四台 PC 两两相互传输文件时，由于源 MAC 地址和目的 MAC 地址不同，因此会分流向不同的端口。而前文中我们测试两台 PC 间互相传输文件，在



没有发生网络链路中断的情况下，总是会选择其中一个端口进行通讯。

(3) 什么情况下链路聚合会起分流作用？

根据聚合端口不同的分流方式，会在不同情况下进行分流，例如负担分担方式 1. 根据报文源 MAC 地址进行负载分担时，来自不同 MAC 地址的网络数据包会被分配到不同的聚合端口，这种方式适合接收大量不同地址来源数据包的服务器。2. 根据报文的目地 MAC 地址进行负载分担，这种方式适合服务器向外发送大量不同的数据包到客户端。除此之外，还可以使用根据报文源 IP 地址进行负载分担等等其他方式。

由上述题目查看我们的负担分配方式是根据源 MAC 地址和目的 MAC 地址进行负担分配，因此在源 MAC 地址和目的 MAC 地址不同的情况下，会起分流作用。

【实验感想】

本次实验是使用两个交换机的两个端口进行链路聚合的测试。由于两个交换机之间有多条冗余链路的时候，生成树协议会将其中的几条链路关闭，只保留一条，这样可以防止二层的环路发生。但是失去了路径冗余的优点，因为 STP 链路切换会很慢，50 左右。使用端口聚合的话，交换机会把一组物理端口联合起来，做为一个逻辑的通道，这样交换机会认为这个逻辑通道为一个端口。链路聚合可以在两两台交换机之间通过多个端口加大链路带宽，与生成树协议不同，生成树协议不能利用冗余链路的额外带宽，而是阻塞某些冗余链路。但是端口聚合可以叠加带宽，同时也能够起到一条链路断开之后立刻补充的冗余情况。