第5章　局　域　网

实验1：以太网MAC帧格式分析

DIX V2以太网帧仿真实现过程如下。

1）仿真环境拓扑设计及地址规划

在Packet Tracer中构建图5.1所示的网络拓扑结构图，可以实现以太网帧。在该网络拓扑结构中，主机PC1和路由器R1的f0/0接口之间传输以太网帧，路由器R1的s0/0/0接口和路由器R2的s0/0/0接口之间传输PPP帧，路由器R2的接口f0/0和主机PC2之间传输以太网帧。路由器实现了异构网络的互联。

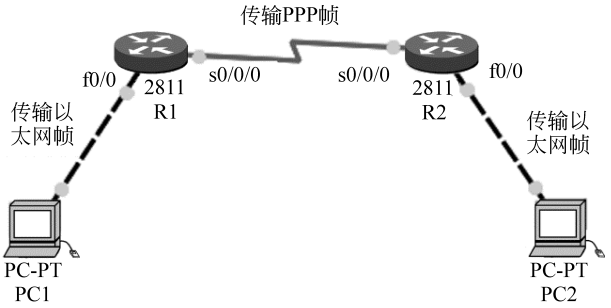

图5.1　DIX V2以太网帧以及PPP帧仿真拓扑结构图

该网络拓扑结构的地址规划如表5.1所示。

表5.1　网络地址规划

设备名称	IP地址	
R1	f0/0:192.168.1.1/24	s0/0/0:192.168.2.1/24
R2	f0/0:192.168.3.1/24	s0/0/0:192.168.2.2/24
PC1	IP:192.168.1.10/24	默认网关192.168.1.1
PC2	IP:192.168.3.10/24	默认网关192.168.3.1

2）配置网络，实现网络互联互通

该网络拓扑由3个网段组成，主机PC1和路由器R1之间传输以太网帧，网络地址为192.168.1.0；路由器R1与R2之间数据链路层使用串口相连，封装PPP，传输PPP帧，网络地址为192.168.2.0；路由器R2和主机PC2之间传输以太网帧，网络地址为192.168.3.0。利用路由器实现异构网络的互联，若要网络互联互通，需要配置接口的IP地址，将路由器的串口封装PPP，最后在路由器上执行动态路由协议。具体配置如下。

首先配置路由器R1，代码如下。

```
R1>enable
R1#configure terminal
R1(config)#interface serial 0/0/0                        //进入路由器 R1 的 s0/0/0 口
R1(config-if)#ip address 192.168.2.1 255.255.255.0       //为接口配置 IP 地址
R1(config-if)#clock rate 64000                           //为接口配置时钟频率
R1(config-if)#encapsulation ppp                          //配置接口封装 PPP 协议
R1(config-if)#no shu                                     //激活接口
R1(config-if)#exit                                       //退出
R1(config)#interface fastEthernet 0/0                    //进入路由器 f0/0 接口
R1(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0       //为接口配置 IP 地址
R1(config-if)#no shu                                     //激活接口
R1(config-if)#exit                                       //退出
R1(config)#route rip                                     //路由器执行 RIP 路由协议
R1(config-router)#network 192.168.1.0                    //宣告网段
R1(config-router)#network 192.168.2.0                    //宣告网段
```

按照同样的步骤对路由器 R2 做相应的配置。配置路由器 R2 的接口 IP 地址，开启路由器动态路由协议 RIP，将路由器 s0/0/0 接口封装成 PPP，主要配置如下。

```
R1>enable
R1#configure terminal
R2(config)#route rip                                     //路由器执行路由协议 RIP
R2(config-router)#network 192.168.2.0                    //宣告网段
R2(config-router)#network 192.168.3.0                    //宣告网段
R2(config-router)#exit                                   //退出
R2(config)#interface serial 0/0/0                        //进入路由器接口 s0/0/0
R2(config-if)#encapsulation ppp                          //配置接口封装 PPP 协议
```

最后按照表 5.1 配置主机的相关网络参数。配置完毕后，整个网络就互联互通了。

3）仿真实现以太网帧

首先仿真实现以太网帧，为了抓取数据包，需要有数据的传输，将 Packet Tracer 仿真模式从 Realtime Mode 切换成 Simulation Mode，从主机 PC1 发一个 ping 包给主机 PC2，连续单击 Play Controls 下的 Capture/Forward 按钮，得到图 5.2 所示的仿真结果。PC1 和路由器 R1 之间传输的协议数据单元（protocol data unite，PDU）为以太网帧，通过展开 PC1 到 R1 的 PDU Information at Device R1，在 Inbound PDU Details 中得到 DIX V2 以太网帧结构仿真图，如图 5.2 所示。其中源地址为主机 PC1 的 MAC 地址，目的地址为路由器 R1 左边接口 f0/0 的 MAC 地址。类型字段值为 0x0800，说明上层使用 IP 数据报。帧的前面插入 7B 的前同步码以及 1B 的帧开始定界符。

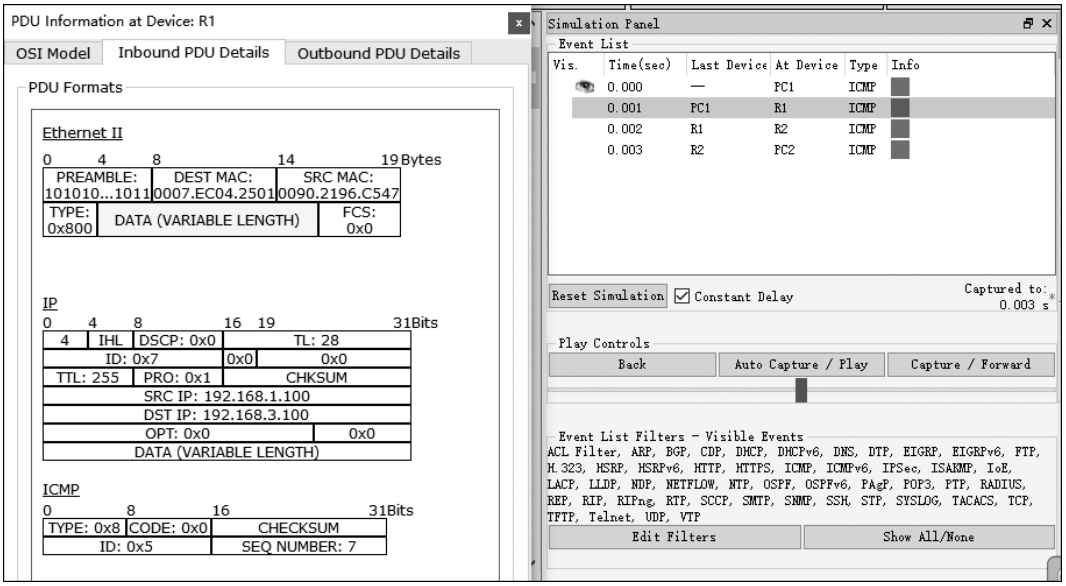

图 5.2　DIX V2 以太网帧结构仿真图

实验 2：交换机自学习功能

1）在 Packet Tracer 仿真软件中设置网络拓扑结构

交换机自学习原理拓扑图如图 5.3 所示，一台交换机连接 3 台计算机，每台计算机连接交换机的接口编号以及每台计算机的 IP 地址与 MAC 地址的对应关系如图 5.3 所示。

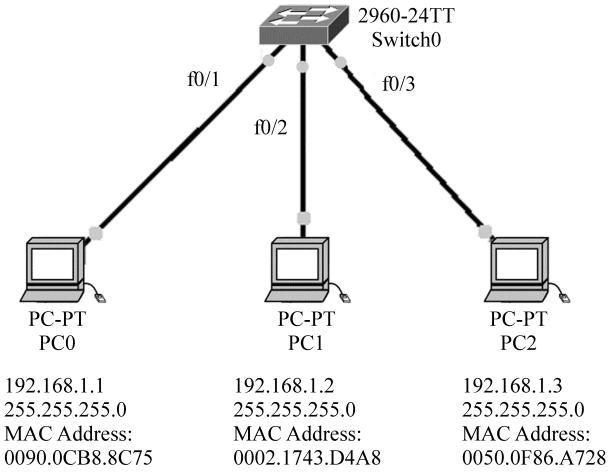

图 5.3　交换机自学习原理拓扑图

2）查看初始状态下的 MAC 地址表

初始状态下交换机的 MAC 地址表为空，如图 5.4 所示。

3）利用计算机 PC0 ping 测试计算机 PC1

为了使交换机转发数据，改变交换机的 MAC 地址表，利用计算机 PC0 ping 测试计算

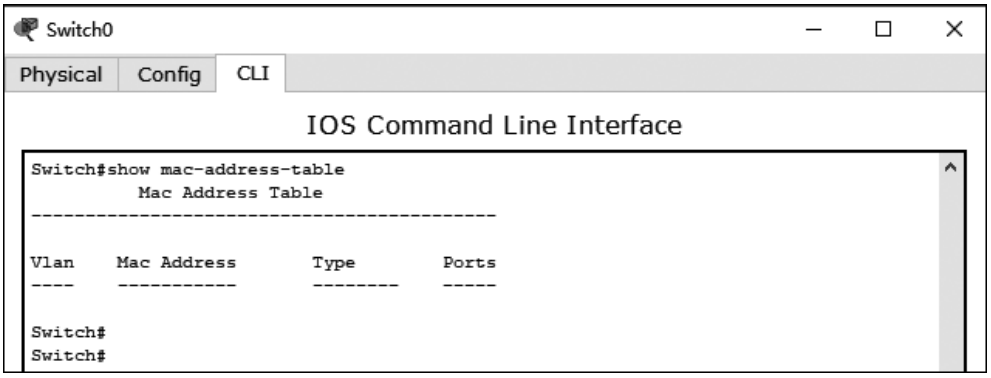

图 5.4　初始状态下交换机的 MAC 地址表为空

机 PC1，测试过程如图 5.5 所示。

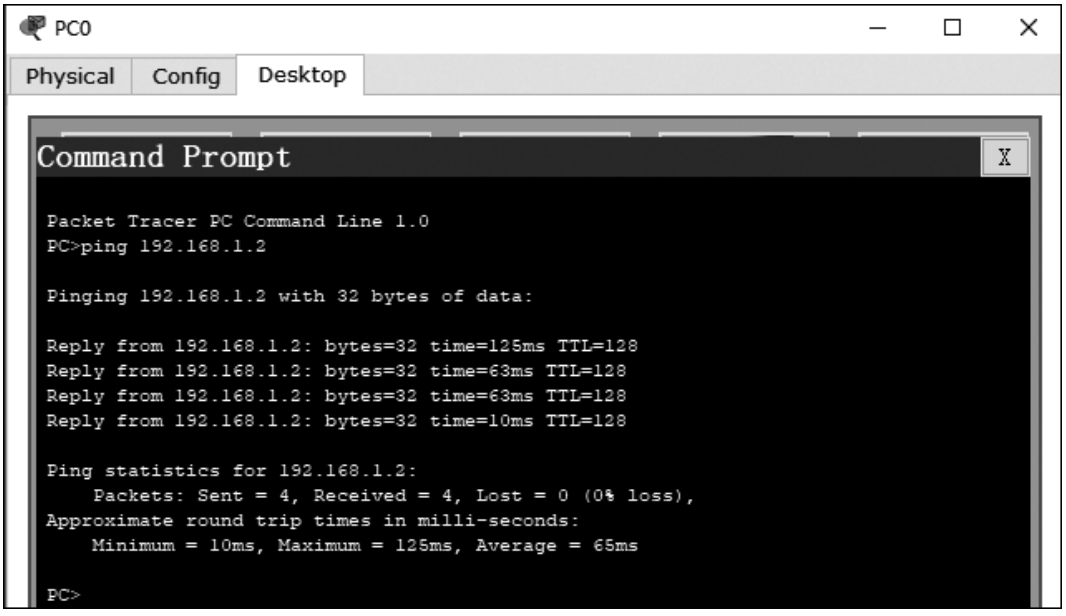

图 5.5　让计算机 PC0 ping 测试计算机 PC1

4）再次查看交换机的 MAC 地址表

利用计算机 PC0 ping 测试计算机 PC1 后，再次查看交换机的 MAC 地址表，结果如图 5.6 所示。此时计算机的 MAC 地址表发生了改变，添加了两条记录，分别对应计算机 PC0 和计算机 PC1 对应的交换机的端口。这里要清楚 ping 命令的执行过程，PC0 发数据包给 PC1，同时 PC1 返回数据包给 PC0，因此交换机的 MAC 地址表中添加了这两条记录。

5）让计算机 PC0 ping 测试计算机 PC2

再让计算机 PC0 ping 测试计算机 PC2，如图 5.7 所示。

6）再次查看交换机的 MAC 地址表

再次查看交换机的 MAC 地址表，如图 5.8 所示。可见，交换机的 MAC 地址表中添加了计算机 PC3 对应的端口，而交换机 PC0 对应的端口类型已经存在，保留不变。

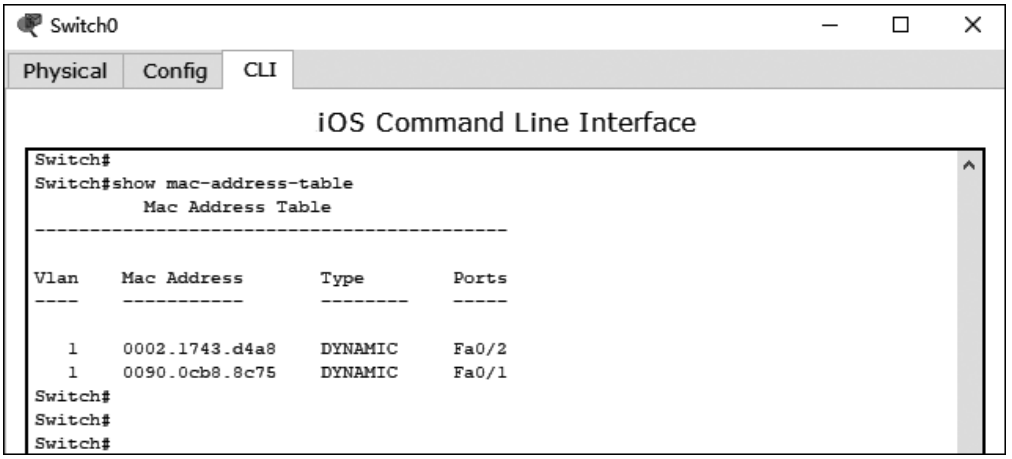

图 5.6　交换机自动学习主机 PC0 和主机 PC1 的 MAC 地址与端口的对应关系

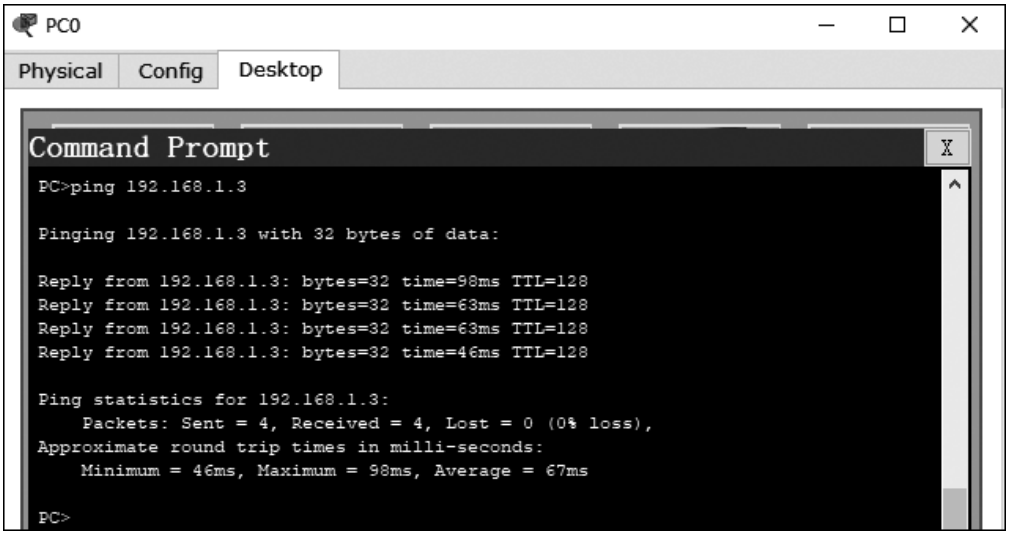

图 5.7　让计算机 PC0 ping 测试计算机 PC2

```
Switch#show mac-address-table
          Mac Address Table
-------------------------------------------

Vlan    Mac Address       Type        Ports
----    -----------       --------    -----

   1    0002.1743.d4a8    DYNAMIC     Fa0/2
   1    0050.0f86.a728    DYNAMIC     Fa0/3
   1    0090.0cb8.8c75    DYNAMIC     Fa0/1
Switch#
```

图 5.8　交换机自动学习计算机 PC3 的 MAC 地址与交换机端口的对应关系

7）通过命令 clear mac-address-table 清除交换机中的 MAC 地址表

通过命令 clear mac-address-table 清除交换机中的 MAC 地址表，如图 5.9 所示。

```
Switch#clear mac-address-table
Switch#show mac-address-table
          Mac Address Table
-------------------------------------------

Vlan    Mac Address       Type        Ports
----    -----------       --------    -----

Switch#
```

Copy　Paste

图 5.9　通过命令 clear mac-address-table 清除交换机中的 MAC 地址表

实验 3：生成树协议分析

在 Packet Tracer 仿真软件中仿真实现交换机生成树协议（spanning tree protocol，STP）。

STP 维护一个树状的网络拓扑，当交换机发现拓扑中有环时，就会逻辑地阻塞一个或更多冗余端口来实现无环拓扑，当网络拓扑发生变化时，运行 STP 的交换机会自动重新配置它的端口，以避免环路产生或连接丢失。

1. 选择 RB

在网络中需要选择一台 RB，RB 的选择是由交换机自主进行的，交换机之间通信的信息称为 BPDU（桥协议数据单元），该信息每 2s 发送一次，BPDU 中包含的信息较多，但 RB 的选择只比较 BID（桥 ID），BID 最小的是 RB。BID＝桥优先级＋桥 MAC 地址，BPDU 数据帧中网桥 ID 有 8B，它由 2B 的网桥优先级和 6B 的背板 MAC 组成，其中网桥优先级的取值范围是 0～65535，缺省值是 32768。RB 的选择是先比较桥优先级，再比较桥 MAC 地址。一般来说，桥优先级都一样，都是 32768，所以一般只比较桥 MAC 地址，将 MAC 地址最小（也就是 BID 最小）的作为 RB。

2. 选择根端口 RP

对于每台非根桥，都要选择一个端口连接到 RB，这就是 RP，在所有非根网桥交换机上的不同端口之间选出一个到 RB 最近的端口作为 RP。

RP 的判定条件如下：计算非根交换机到达根桥的链路开销，开销最小的端口为 RP；在开销相同的情况下，比较非根交换机的上行交换机桥 ID（由优先级和 MAC 地址决定），桥 ID 小的非根交换机的端口为 RP；在以上都相同的情况下，上行交换机的最小端口号连接的非根交换机的端口为根端口。

关于开销，带宽为 10Mb/s 的端口开销为 100，带宽为 100Mb/s 的端口开销为 19，带宽为 1000Mb/s 的端口开销为 4。

3. 选择 DP

首先，根桥上的所有端口都是指定端口；其次，非根交换机与非根交换机之间连接线的两个端口中必定有一个端口为指定端口，此时比较两个非根交换机的根端口到达根桥的最低链路开销，以最低开销的非根交换机为准，其所在的连接线的端口为指定端口。如果链路

开销一样，比较各自的桥 ID 即可。桥 ID 小的交换机的端口为指定端口。

4. RP、DP 设置为转发状态，其他端口设置为阻塞状态

将选出的 RP 和 DP 都设置为转发状态，既不是 RP 也不是 DP 的其他端口将被阻止(block)。通过上述 4 步，就可以形成无环路的网络。

如图 5.10 所示，首先选择 RB。3 台交换机的优先级以及 MAC 地址如下。

```
Switch0: default 优先级 32768 VLAN1 MAC 地址: 0060.3e05.4ceb
Switch1: default 优先级 32768 VLAN1 MAC 地址: 0060.2f9d.dae1
Switch2: default 优先级 32768 VLAN1 MAC 地址: 0060.3e3d.4caa
```

很明显，在优先级相等的情况下，MAC 地址 Switch1 最小，所以 Switch1 为 RB。

其次选择 RP。

对于每台非根桥，Switch0 和 Switch1 要选择一个端口连接到根桥，作为 RP。选择依据是首先比较开销，其次比较上行交换机的 BID，最后比较上行交换机的 PID(端口 ID)。

交换机 Switch0 有两个端口 G1/1 和 G1/2 连接到根桥交换机 Switch1，如图 5.10 所示，从端口 G1/1 到根桥交换机 Switch1 的开销为 4，从端口 G1/2 到根桥交换机 Switch1 的开销为 4＋4＝8，所以将交换机 Switch0 的端口 G1/1 设置为 RP。

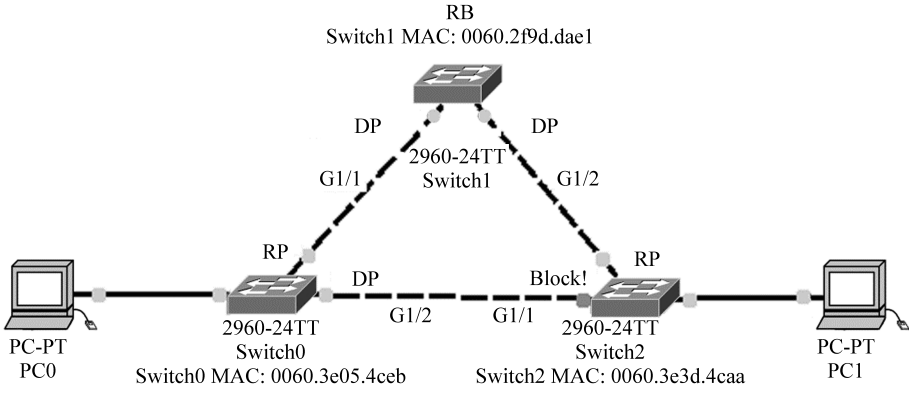

图 5.10　生成树协议工作原理拓扑图

交换机 Switch2 有两个端口 G1/1 和 G1/2 连接到根桥交换机 Switch1，从端口 G1/2 到根桥交换机 Switch1 的开销为 4，从端口 G1/1 到根桥交换机 Switch1 的开销为 4＋4＝8，所以将交换机 Switch2 的端口 G1/2 设置为 RP。

接下来选择 DP。

在交换机与交换机之间选择一个端口作为 DP，根桥交换机 Switch1 没有 RP，它的两个端口 G1/1 和 G1/2 分别连接交换机 Switch0 的根端口 G1/1，以及交换机 Switch2 的根端口 G1/2。所以，根桥交换机的两个端口 G1/1 和 G1/2 为 DP。

在交换机 Switch0 端口 G1/2 和交换机 Switch2 端口 G1/1 之间选择一个指定端口，由于 Switch0 端口 G1/2 到根桥的开销和 Switch2 端口 G1/1 到根桥的开销相同，所以比较这两个交换机的 BID。由于交换机 Switch0 和 Switch2 的优先级相同，均为 32768，所以接下来比较这两个交换机的 MAC 大小。Switch0 VLAN1 MAC 地址：0060.3e05.4ceb；Switch2 VLAN1 MAC 地址：0060.3e3d.4caa，显然 Switch0 的 MAC 小，所以在交换机 Switch0 端口

G1/2 和交换机 Switch2 端口 G1/1 之间选择 Switch0 的端口 G1/2 作为指定端口。

最后将 RP、DP 设置为转发状态，其他端口设置为阻塞状态。也就是说，将 Switch2 的 G1/1 设置为阻塞状态，如图 5.10 所示。

如图 5.11 所示，两台交换机两条冗余链路下的 STP 工作情况分析：首先选择根桥交换机 RB。两台交换机的优先级及 VLAN1 的 MAC 地址如下。

```
Switch0: default 优先级 32768 VLAN1 MAC 地址: 00e0.b0b9.4e9e
Switch1: default 优先级 32768 VLAN1 MAC 地址: 000c.8566.6888
```

很明显，在优先级相等的情况下，Switch1 的 MAC 地址小，所以 Switch1 为 RB。

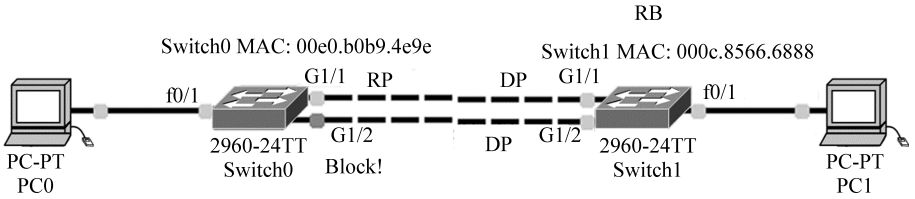

图 5.11　两台交换机多条冗余链路下的 STP 协议

其次选择 RP。

对于非根桥 Switch0，两条链路分别选择 RP 连接 RB，选择依据是首先比较开销，其次比较上行交换机的 BID，最后比较上行交换机的 PID(端口 ID)。

由于交换机 Switch0 有两个端口 G1/1 和端口 G1/2 能够连接到根桥交换机 Switch1，从端口 G1/1 到根桥交换机 Switch1 的开销为 4。从端口 G1/2 到根桥交换机 Switch1 的开销为 4。在开销相同的情况下，比较上行交换机的 BID，由于这两个端口的上行交换机为同一台交换机，因此 BID 相同，最后比较上行交换机的 PID，将端口号小的交换机对应的交换机端口设置为 RP，所以将交换机 Switch0 的端口 G1/1 设置为 RP。

接着选择 DP。

交换机与交换机之间每条链路选择一个端口作为 DP，根桥交换机 Switch1 两个端口 G1/1 和 G1/2 分别连接交换机 Switch0 根端口 G1/1，以及交换机 Switch0 端口 G1/2，所以根桥交换机端口 G1/1 为 DP。

在交换机 Switch0 端口 G1/2 和交换机 Switch1 端口 G1/2 之间选择一个 DP，Switch0 端口 G1/2 到根桥的开销大于 Switch1 端口 G1/2 到根桥的开销，所以交换机 Switch1 端口 G1/2 为 DP。

最后将 RP、DP 设置为转发状态，其他端口设置为阻塞状态。也就是说，将 Switch0 的 G1/2 设置为阻塞状态，具体如图 5.11 所示。

实验 4：交换机 VLAN 划分

如图 5.12 所示，没有划分 VLAN 之前，整个交换机处于一个广播域里，通过端口划分 VLAN 的方法，将这 4 台计算机划分为 3 个广播域，PC1 和 PC2 为一个广播域，PC3 为一个广播域，PC4 为一个广播域，VLAN 的划分如图 5.13 所示。根据这 4 台计算机连接的交换机的端口情况，通过交换机端口划分 VLAN，则具体划分如下。

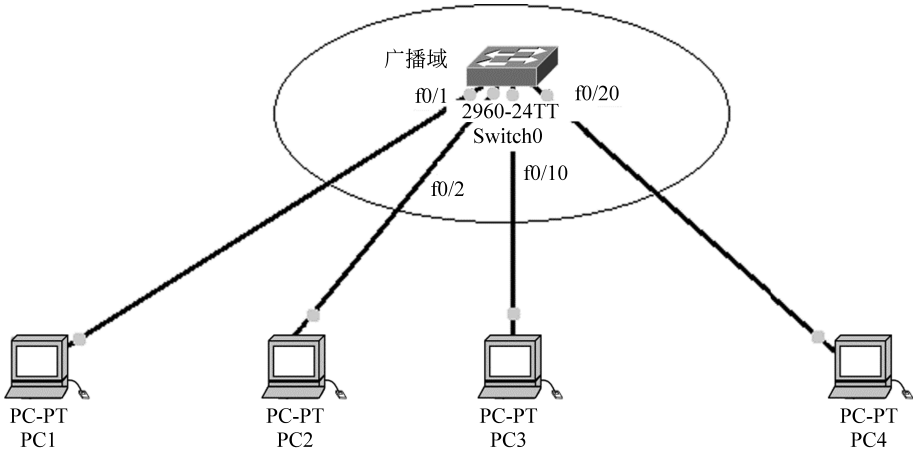

图 5.12　初始阶段交换机所有端口处于同一广播域

将端口 f0/1 和 f0/2 划分为同一个 VLAN，其 VLAN 号为 10，将端口 f0/10 划分为一个 VLAN，其 VLAN 号为 20，将 f0/20 划分为一个 VLAN，其 VLAN 号为 30。

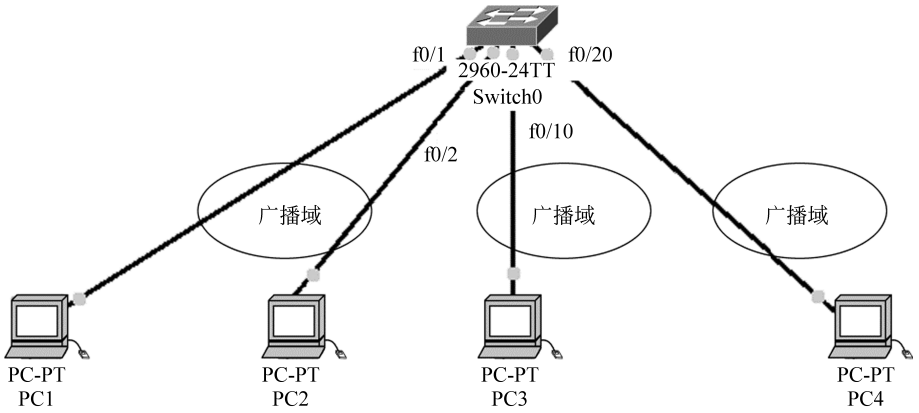

图 5.13　通过划分 VLAN 分割广播域

通过 show vlan 命令查看交换机初始 VLAN 情况，结果如下。

```
Switch#show vlan
VLAN Name                             Status    Ports
---- -------------------------------- --------- -------------------
1    default                          active    f0/1, f0/2, f0/3, f0/4
                                                f0/5, f0/6, f0/7, f0/8
                                                f0/9, f0/10, f0/11, f0/12
                                                f0/13, f0/14, f0/15, f0/16
                                                f0/17, f0/18, f0/19, f0/20
                                                f0/21, f0/22, f0/23, f0/24
                                                Gig1/1, Gig1/2
1002 fddi-default                     act/unsup
1003 token-ring-default               act/unsup
1004 fddinet-default                  act/unsup
```

```
1005 trnet-default                    act/unsup
VLAN Type  SAID       MTU   Parent RingNo BridgeNo Stp  BrdgMode Trans1 Trans2
---- ----- ---------- ----- ------ ------ -------- ---- -------- ---
1    enet  100001      1500  -      -      -        -    -        0      0
1002 fddi  101002      1500  -      -      -        -    -        0      0
1003 tr    101003      1500  -      -      -        -    -        0      0
1004 fdnet 101004      1500  -      -      -        ieee -        0      0
1005 trnet 101005      1500  -      -      -        ibm  -        0      0
Remote SPAN VLANs
------------------------------------------------------------------------
Primary Secondary Type              Ports
------- --------- ------------------ ------------------------------
```

显示结果表明：交换机在初始状态下，所有的端口都属于 VLAN1。将交换机中的端口按照图 5.12 所示进行 VLAN 划分的步骤如下：首先在交换机中创建 3 个新的 VLAN，VLAN 号分别为 10、20 以及 30。命令配置如下。

```
Switch#config terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#vlan 10                    //创建 VLAN 10
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#vlan 20                    //创建 VLAN 20
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#vlan 30                    //创建 VLAN 30
Switch(config-vlan)#
```

通过 show vlan 命令可以看到刚刚创建的 3 个 VLAN，此时新创建的 VLAN 下都没有对应的端口，所有端口仍然属于 VLAN1。显示结果如下。

```
Switch#show vlan
VLAN Name                             Status    Ports
---- -------------------------------- --------- -------------------
1    default                          active    f0/1, f0/2, f0/3, f0/4
                                                f0/5, f0/6, f0/7, f0/8
                                                f0/9, f0/10, f0/11, f0/12
                                                f0/13, f0/14, f0/15, f0/16
                                                f0/17, f0/18, f0/19, f0/20
                                                f0/21, f0/22, f0/23, f0/24
                                                Gig1/1, Gig1/2
10   VLAN0010                         active
20   VLAN0020                         active
30   VLAN0030                         active
1002 fddi-default                     act/unsup
1003 token-ring-default               act/unsup
1004 fddinet-default                  act/unsup
1005 trnet-default                    act/unsup
VLAN Type  SAID       MTU   Parent RingNo BridgeNo Stp  BrdgMode Trans1 Trans2
---- ----- ---------- ----- ------ ------ -------- ---- --------
```