

# 电子科技大学

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

## 项目二 Packet Tracer 网络 仿真 总报告



组 号 6

姓 名 黄鑫杰，马文亮，李政廉

课程名称 计算机通信网（挑战性课程）

指导老师 段 景 山

# 目录

一、 阶段一	3
1.1 问题分析	3
1.2 基本原理	3
1.2.1 IP 地址	3
1.2.2 子网掩码	3
1.2.3 子网划分	4
1.3 IP 地址规划方案及分析	4
1.3.1 方案一	4
1.3.2 方案二	4
1.3.3 方案三	7
1.3.4 方案四	7
1.3.5 方案五	8
二、 阶段二	9
2.1 问题分析	9
2.2 网络搭建规划	10
2.2.1 需求分析与模型选择	10
2.2.2 网络拓扑图	11
2.3 IP 地址规划方案选择及优化	11
2.3.1 优化方向	11
2.3.2 对于方案五的考虑	12
2.3.3 对于方案四的优化及采用	14
2.4 静态路由配置	14
2.4.1 主机 IP 地址配置	14
2.4.2 路由器端口 IP 地址配置	14
2.4.3 路由器静态路由配置	17
2.5 静态路由配通结果展示	23
2.5.1 服务器子网配通	23

2.5.2	同一路由器下的子网配通	24
2.5.3	不同路由器下的子网配通	24
2.6	动态路由配置	27
2.7	动态路由配通结果展示	29
2.7.1	动态路由配置检验	29
2.7.2	动态路由配通测试	29
<b>三、</b>	<b>阶段三</b>	<b>31</b>
3.1	问题分析	31
3.2	报文传输过程分析	31
3.2.1	同一子网（交换机）下传输过程	31
3.2.2	同一路由器、不同交换机下传输过程	35
3.2.3	不同路由器下传输过程	40
<b>四、</b>	<b>收获与总结</b>	<b>43</b>
<b>五、</b>	<b>小组分工</b>	<b>44</b>
5.1	阶段一	44
5.2	阶段二	44
5.3	阶段三	45

## 一、阶段一

### 1.1 问题分析

根据题目要求，我们需要在 172.16.0.0 号段设计 7 个子网，分别为 A1（10 台主机），A2（90 台），B1（30 台），B2（20 台），C1（70 台），D1（5 台），D2（30 台）。在阶段一，我们需要满足以下几个主要的需求：

- 设计的 IP 地址能配通各子网之间的通信。
- 每个子网的地址容量尽量与设计规模相当，可留有少量容量。
- IP 地址的消耗尽量少。
- 尽量考虑子网聚合。

为了尽量减少 IP 地址的消耗，本阶段我们对子网聚合不予考虑。

### 1.2 基本原理

#### 1.2.1 IP 地址

对于互联网中的一台设备，IP 地址是它独特的一个编号，以此在通信时与其他设备区分。常见的 IP 地址，分为 IPv4 与 IPv6 两大类，当前广泛应用的是 IPv4。IPv4 地址是一个 32 位的二进制数，共有 4 段，每段 8 位；常见的 IP 地址使用十进制表示，如 127.0.0.1。IP 地址可以分为前后两段，分别是网络 ID 和这个网络下的主机 ID。

#### 1.2.2 子网掩码

为了更充分地利用有限的地址，引入子网概念，网络层次变为网络 → 子网 → 主机。子网向主机 ID 借用若干位，作为自己的子网 ID，然后剩下的主机 ID 隶属于这个子网，即主机 ID 被拆分为了子网 ID 和主机 ID。

为了区分不同的子网，便有了子网掩码。子网掩码的网络 ID 与子网 ID 的位置全为 1，主机 ID 的位置全为 0。它可以用来检测两台主机是否处于同一子网下。将子网掩码和主机 IP 地址作“与”运算，就能够得到这台主机所处的网络地址。

### 1.2.3 子网划分

子网划分的步骤如下：

- 1) 确定需要  $n$  个子网，该子网下的主机数  $s$ 。
- 2) 算上保留的网络地址和广播地址，共需  $s + 2$  个地址。
- 3) 找到最小的  $b$ ，使得  $2^b \geq s + 2$ ， $b$  就是主机 ID 长度。
- 4) 找到最小的  $a$ ，使得  $2^a \geq n$ ， $a$  就是子网 ID 最小长度。
- 5) 如果  $a + b$  没有溢出能够分配的地址长度，则该划分问题有解；若溢出，则从网络 ID 中增加  $a$  的大小。
- 6) 根据长度确定网络地址、主机地址、广播地址、子网掩码。

## 1.3 IP 地址规划方案及分析

### 1.3.1 方案一

我们最初的想法比较简单，直接采用 C 类地址，此时不同子网 IPv4 地址的第三段均不相同。

这套方案各子网分段清晰，子网之间不易产生冲突，但 IP 地址非常浪费。例如，在这几个子网的小范围内，第三段为 0 的网段只占用了 10 个主机地址，除网络地址和广播地址外，剩下的 244 个 IP 地址将处于空闲的状态。

### 1.3.2 方案二

方案二中，我们采用变长子网掩码（VLSM），使得每个子网下的主机数尽量接近相应的 IP 地址数。同时，由于各楼栋在不同的路由器下，考虑到连通性，我们把相同楼栋的子网置于同一个网络 ID 内，子网掩码的长度将由楼栋内拥有主机数最大的子网决定。

相较于方案一，方案二所占用的地址数少了许多，且在同一网络 ID 下，IP 地址的利用率也有所提高。但同时我们也可以看到，某些网段的 IP 地址仍存在较大的浪费，如 A1 子网，虽然只有 10 台主机，却也占用了 128 个 IP 地址。而且，对

子网	IP地址 & 子网掩码	二进制 (网络ID+主机ID)
A1(10)	网络地址: 172.16.0.0	10101100 00010000 00000000 00000000
	主机地址: 172.16.0.1-10	10101100 00010000 00000000 XXXXXXXX
	广播地址: 172.16.0.255	10101100 00010000 00000000 11111111
	子网掩码: 255.255.255.0/24	11111111 11111111 11111111 00000000
A2(90)	网络地址: 172.16.1.0	10101100 00010000 00000001 00000000
	主机地址: 172.16.1.1-90	10101100 00010000 00000001 XXXXXXXX
	广播地址: 172.16.1.255	10101100 00010000 00000001 11111111
	子网掩码: 255.255.255.0/24	11111111 11111111 11111111 00000000
B1(30)	网络地址: 172.16.2.0	10101100 00010000 00000010 00000000
	主机地址: 172.16.2.1-30	10101100 00010000 00000010 XXXXXXXX
	广播地址: 172.16.2.255	10101100 00010000 00000010 11111111
	子网掩码: 255.255.255.0/24	11111111 11111111 11111111 00000000
B2(20)	网络地址: 172.16.3.0	10101100 00010000 00000011 00000000
	主机地址: 172.16.3.1-20	10101100 00010000 00000011 XXXXXXXX
	广播地址: 172.16.3.255	10101100 00010000 00000011 11111111
	子网掩码: 255.255.255.0/24	11111111 11111111 11111111 00000000
C1(70)	网络地址: 172.16.4.0	10101100 00010000 00000100 00000000
	主机地址: 172.16.4.1-70	10101100 00010000 00000100 XXXXXXXX
	广播地址: 172.16.4.255	10101100 00010000 00000100 11111111
	子网掩码: 255.255.255.0/24	11111111 11111111 11111111 00000000
D1(5)	网络地址: 172.16.5.0	10101100 00010000 00000101 00000000
	主机地址: 172.16.5.1-5	10101100 00010000 00000101 XXXXXXXX
	广播地址: 172.16.5.255	10101100 00010000 00000101 11111111
	子网掩码: 255.255.255.0/24	11111111 11111111 11111111 00000000
D2(30)	网络地址: 172.16.6.0	10101100 00010000 00000110 00000000
	主机地址: 172.16.6.1-30	10101100 00010000 00000110 XXXXXXXX
	广播地址: 172.16.6.255	10101100 00010000 00000110 11111111
	子网掩码: 255.255.255.0/24	11111111 11111111 11111111 00000000

图 1: 方案一 IP 地址规划表

子网	IP地址 & 子网掩码	二进制 (网络ID+子网ID+主机ID)
A1(10)	网络地址: 172.16.0.0	10101100 00010000 00000000 00000000
	主机地址: 172.16.0.1-10	10101100 00010000 00000000 0XXXXXX
	广播地址: 172.16.0.127	10101100 00010000 00000000 01111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
A2(90)	网络地址: 172.16.0.128	10101100 00010000 00000000 10000000
	主机地址: 172.16.0.129-198	10101100 00010000 00000000 1XXXXXX
	广播地址: 172.16.0.255	10101100 00010000 00000000 11111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
B1(30)	网络地址: 172.16.1.0	10101100 00010000 00000001 00000000
	主机号 : 172.16.1.1-30	10101100 00010000 00000001 000XXXX
	广播地址: 172.16.1.31	10101100 00010000 00000001 00011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
B2(20)	网络地址: 172.16.1.32	10101100 00010000 00000001 00100000
	主机地址: 172.16.1.33-52	10101100 00010000 00000001 001XXXX
	广播地址: 172.16.1.63	10101100 00010000 00000001 00111111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
C1(70)	网络地址: 172.16.2.0	10101100 00010000 00000010 00000000
	主机地址: 172.16.2.1-70	10101100 00010000 00000010 0XXXXXX
	广播地址: 172.16.2.127	10101100 00010000 00000010 01111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
D1(5)	网络地址: 172.16.3.0	10101100 00010000 00000011 00000000
	主机地址: 172.16.3.1-5	10101100 00010000 00000011 000XXXX
	广播地址: 172.16.3.31	10101100 00010000 00000011 00011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
D2(30)	网络地址: 172.16.3.32	10101100 00010000 00000011 00100000
	主机地址: 172.16.3.33-62	10101100 00010000 00000011 001XXXX
	广播地址: 172.16.3.63	10101100 00010000 00000011 00111111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000

图 2: 方案二 IP 地址规划表

于第三段为 1 的 IP 地址，可以容纳下 8（256/32）个同规模的子网，而目前只占用了 2 个，还是存在较大的空闲位置。

### 1.3.3 方案三

为了使得每个子网的地址容量尽量接近该子网的主机数，从而减少地址损耗，我们想到将主机数量接近的子网置于相同的网络 ID 下。

子网	IP地址 & 子网掩码	二进制（网络ID+子网ID+主机ID）
A2(90)	网络地址: 172.16.0.0	10101100 00010000 00000000 00000000
	主机地址: 172.16.0.1-90	10101100 00010000 00000000 0XXXXXXX
	广播地址: 172.16.0.127	10101100 00010000 00000000 01111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
C1(70)	网络地址: 172.16.0.128	10101100 00010000 00000000 10000000
	主机地址: 172.16.0.129-198	10101100 00010000 00000000 1XXXXXXX
	广播地址: 172.16.0.255	10101100 00010000 00000000 11111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
B1(30)	网络地址: 172.16.1.0	10101100 00010000 00000001 00000000
	主机地址: 172.16.1.1-30	10101100 00010000 00000001 000XXXXX
	广播地址: 172.16.1.31	10101100 00010000 00000001 00011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
B2(20)	网络地址: 172.16.1.32	10101100 00010000 00000001 00100000
	主机地址: 172.16.1.33-52	10101100 00010000 00000001 001XXXXX
	广播地址: 172.16.1.63	10101100 00010000 00000001 00111111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
D2(30)	网络地址: 172.16.1.64	10101100 00010000 00000001 01000000
	主机地址: 172.16.1.65-94	10101100 00010000 00000001 010XXXXX
	广播地址: 172.16.1.95	10101100 00010000 00000001 01011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
A1(10)	网络地址: 172.16.2.0	10101100 00010000 00000010 00000000
	主机地址: 172.16.2.1-10	10101100 00010000 00000010 0000XXXX
	广播地址: 172.16.2.15	10101100 00010000 00000010 00001111
	子网掩码: 255.255.255.240/28	11111111 11111111 11111111 11110000
D1(5)	网络地址: 172.16.2.16	10101100 00010000 00000010 00010000
	主机地址: 172.16.2.17-21	10101100 00010000 00000010 0001XXXX
	广播地址: 172.16.2.31	10101100 00010000 00000010 00011111
	子网掩码: 255.255.255.240/28	11111111 11111111 11111111 11110000

图 3: 方案三 IP 地址规划表

相较于方案二，方案三 IP 地址的利用率得到了提高。但短板也比较明显，即网络 ID 相同的子网可能直接连接于不同的路由器，连通性也许会受到影响。

### 1.3.4 方案四

为了使用更少的 IP 地址，考虑到我们只需要照顾四个楼栋间小范围的 IP 通信，我们大胆地将许多子网都放在同一个网络 ID 下。只要子网 ID 不重，便可以保



证不同子网的网络地址不同，理论上是可行的。在每个网络 ID 下，我们刚开始根据子网的顺序依次分配 IP 地址，发现会出现计算出来的网络地址重复的情况。经过多次试验，我们总结出来需要先排入主机数多的子网，再排入主机数少的子网，同时使得子网 ID 不会出现前端重复（较长的子网 ID 的前几位与某一个较短的子网 ID 相同），这样能有效避免网络地址重复。兼顾到网络的连通性，我们将楼栋的顺序作为次要关键字进行排序，得到了图 4 所示的结果。

子网	IP地址 & 子网掩码	二进制（网络ID+子网ID+主机ID）
A2(90)	网络地址: 172.16.0.0	10101100 00010000 00000000 00000000
	主机地址: 172.16.0.1-90	10101100 00010000 00000000 0XXXXXXX
	广播地址: 172.16.0.127	10101100 00010000 00000000 01111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
B1(30)	网络地址: 172.16.0.128	10101100 00010000 00000000 10000000
	主机地址: 172.16.0.129-158	10101100 00010000 00000000 100XXXXX
	广播地址: 172.16.0.159	10101100 00010000 00000000 10011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
B2(20)	网络地址: 172.16.0.160	10101100 00010000 00000000 10100000
	主机地址: 172.16.0.161-180	10101100 00010000 00000000 101XXXXX
	广播地址: 172.16.0.191	10101100 00010000 00000000 10111111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
D2(30)	网络地址: 172.16.0.192	10101100 00010000 00000000 11000000
	主机地址: 172.16.0.193-222	10101100 00010000 00000000 110XXXXX
	广播地址: 172.16.0.223	10101100 00010000 00000000 11011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
A1(10)	网络地址: 172.16.0.224	10101100 00010000 00000000 11100000
	主机地址: 172.16.0.225-234	10101100 00010000 00000000 1110XXXX
	广播地址: 172.16.0.239	10101100 00010000 00000000 11101111
	子网掩码: 255.255.255.240/28	11111111 11111111 11111111 11110000
D1(5)	网络地址: 172.16.0.240	10101100 00010000 00000000 11110000
	主机地址: 172.16.0.241-245	10101100 00010000 00000000 11110XXX
	广播地址: 172.16.0.247	10101100 00010000 00000000 11110111
	子网掩码: 255.255.255.248/29	11111111 11111111 11111111 11111000
C1(70)	网络地址: 172.16.1.0	10101100 00010000 00000001 00000000
	主机地址: 172.16.1.1-70	10101100 00010000 00000001 0XXXXXXX
	广播地址: 172.16.1.127	10101100 00010000 00000001 01111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000

图 4: 方案四 IP 地址规划表

方案四虽然理论上可行，但实用性还臻待考量。不可否认的是，该方案相较于前面几种方案极大得减少了 IP 地址的使用。

### 1.3.5 方案五

更进一步的，我们知道，即使两台主机的 IP 地址相同，由于子网掩码的存在，他们也可能处于不同的子网中。所以我们想到，直接让所有的子网使用相同的网

络 ID，即只占用 IPv4 地址第三段为 0 的网段。与方案四类似的，只要它们的网络地址不同，便可以区分不同的子网。

子网	IP地址 & 子网掩码	二进制 (网络ID+子网ID+主机ID)
A2(90)	网络地址: 172.16.0.0	10101100 00010000 00000000 00000000
	主机地址: 172.16.0.1-90	10101100 00010000 00000000 0XXXXXX
	广播地址: 172.16.0.127	10101100 00010000 00000000 01111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
C1(70)	网络地址: 172.16.0.128	10101100 00010000 00000000 10000000
	主机地址: 172.16.0.128-197	10101100 00010000 00000000 1XXXXXX
	广播地址: 172.16.0.255	10101100 00010000 00000000 11111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
A1(10)	网络地址: 172.16.0.32	10101100 00010000 00000000 00100000
	主机地址: 172.16.0.33-42	10101100 00010000 00000000 001XXXXX
	广播地址: 172.16.0.63	10101100 00010000 00000000 00111111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
B1(30)	网络地址: 172.16.0.64	10101100 00010000 00000000 01000000
	主机地址: 172.16.0.65-94	10101100 00010000 00000000 010XXXXX
	广播地址: 172.16.0.95	10101100 00010000 00000000 01011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
B2(20)	网络地址: 172.16.0.96	10101100 00010000 00000000 01100000
	主机地址: 172.16.0.97-116	10101100 00010000 00000000 011XXXXX
	广播地址: 172.16.0.127	10101100 00010000 00000000 01111111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
D1(5)	网络地址: 172.16.0.160	10101100 00010000 00000000 10100000
	主机地址: 172.16.0.161-165	10101100 00010000 00000000 10100XXX
	广播地址: 172.16.0.191	10101100 00010000 00000000 10100111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
D2(30)	网络地址: 172.16.0.192	10101100 00010000 00000000 11000000
	主机地址: 172.16.0.193-222	10101100 00010000 00000000 110XXXXX
	广播地址: 172.16.0.223	10101100 00010000 00000000 11011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000

图 5: 方案五 IP 地址规划表

从图 5 可以看到，A1 的主机地址和 A2 的一部分主机地址是相重的，但是通过与对应的子网掩码进行相与后，计算出的网络地址是不同的，所以仍然可以区分出他们处于不同的子网之中。该方案在方案四的基础上又进一步减少了所用的 IP 地址。但是，受限于目前的知识储备，我们的确不太清楚具体现实中能否这样操作，也不太了解这样子能否连通各主机，不过这种想法我们觉得理论上也是可行的。

## 二、阶段二

### 2.1 问题分析

在阶段二，我们需要满足以下几个主要的需求：

- 规划搭建网络所需要的器件以及相应的型号，如路由器及其型号、连接线

及其型号等，规划网络搭建的形式。

- 结合阶段二的需求，优化与修改阶段一的 IP 地址规划方案。
- 每个子网配置两台主机，取最小地址和最大地址。
- 配置主机、交换机和路由器的各个参数。
- 考虑子网聚合，采用静态路由进行配置，实现测通。
- 采用动态路由进行配置，实现测通。

## 2.2 网络搭建规划

### 2.2.1 需求分析与模型选择

由设计要求，对于 4 个路由器部分，其他几个路由器都直接与 A 相连；当 A 瘫痪时，网络其余部分也是联通的，说明 C 也与 B 和 D 相连。同时，还需要满足整体的线路最少，则无需将 D 和 B 进行相连。搭建出来的拓扑可见于下一个小节。

对于同一路由器下的不同子网，如 A1 和 A2，可以使用交换机进行划分。对于同一个子网下的各个主机，可连接到一个交换机的各个端口。考虑到一个交换机的端口数量有限，可以将交换机进行级联或使用集线器来扩展端口数量。不过，放置及配置许多主机的工作既繁琐又无劳动产出，况且题目要求可以只配置两台主机，对应最小 IP 地址和最大 IP 地址，所以我们选择每个子网配置两台主机来减少工作量，又不失正确和严谨性。

对于连通线，主机和交换机、交换机和路由器之间可以通过铜直通线进行相连；路由器和路由器之间，应题目的要求，使用光纤进行相连。

对于路由器和交换机的选型，路由器选择 Router-PT，可扩展的端口相对要多一些；交换机选择 2960-24TT，型号性能相对中等，因为经过上述分析，对交换机不需要有太大的要求。

对于主机的选型，A1 为服务器子网，较为特殊，所以主机选择服务器 Server-PT，其他主机选择 PC-PT 即可。

## 2.2.2 网络拓扑图

经过以上分析，我们搭建的网络拓扑图如图 6 所示。

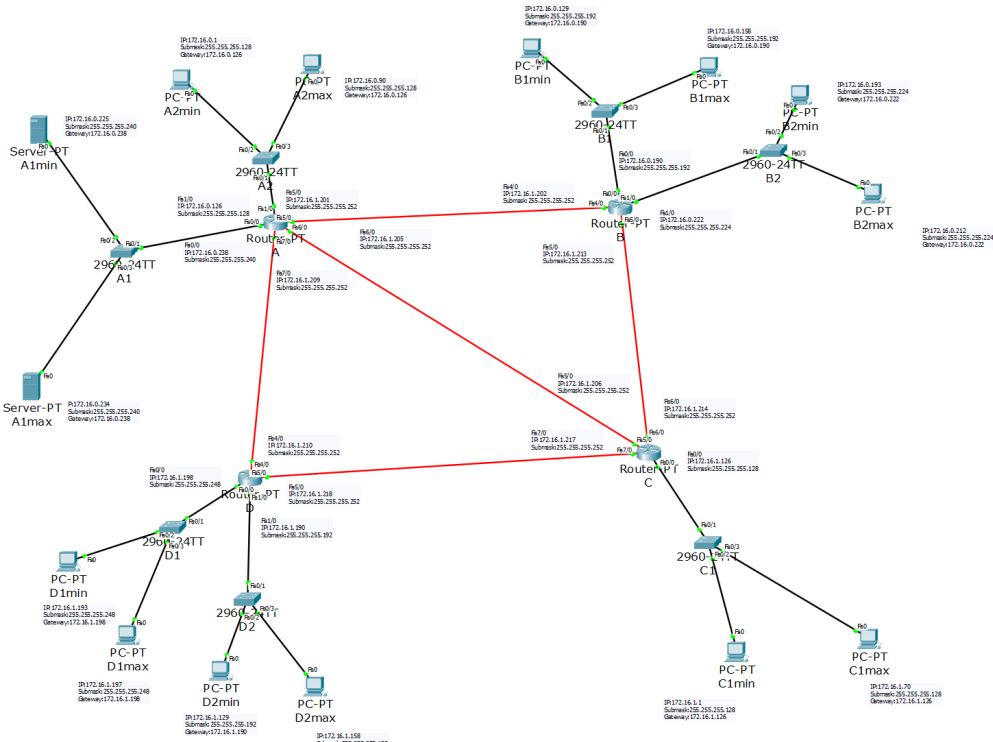


图 6: 网络拓扑图

其中给每一台主机和路由器每一个端口周围标上了相应的 IP 地址等，这部分将在下节讲到。

## 2.3 IP 地址规划方案选择及优化

### 2.3.1 优化方向

在阶段一中，我们一共提出了五种 IP 地址规划的方案。

先抛开这些方案不谈，通过进一步的学习，我们发现对于各子网，若要实现子网间的配通，还需要增设一个 IP 地址给网关。网关地址可取除了网络地址和广播地址外的最小地址或最大地址（一般取最小或最大，防止取中间与新增设的主机 IP 地址相重）。考虑到之前方案主机的 IP 地址均从最小地址开始编排，为了便于

修改，将各子网的网关均设为最大地址。

其中，主机数为 30 的子网需要作较大的改动。因为阶段一只考虑到了网络地址和广播地址，所以在靠后的几个方案中（如方案四），使用含 32 个 IP 地址的子网，而考虑到网关，需要把它们子网增设成可容纳 64 个 IP 地址的规格。

同时，在对路由器进行相应的配置时，需要给路由器的端口设置 IP 地址和子网掩码。对于两个路由器端口相连的这种形式，需要将通过光纤相连的这两个端口置于同一个子网下，所以另外需要给五条光纤所连接的 10 个端口配置 5 个子网。另外，由于配置端口的 IP 地址不需要网关，所以每条线路的子网规模只需要 4 个大小即可。也为了尽量减少 IP 地址的消耗，我们将路由器端口间的 IP 地址规划到 172.16.1 的网段，具体可见 2.3.3 节的 IP 地址方案规划图。

考虑到方案四和方案五均优于前三个方案，所以先对这两个方案进行测试。

### 2.3.2 对于方案五的考虑

在方案五中，我们原本提出在设计的网络中使用并通过子网掩码区分相同的 IP 地址，也就是认为 IP 地址相同子网掩码不同可以代表局域网上不同的两台计算机。但是通过软件仿真发现：这种设计根本无法区分局域网中两台计算机，会出现主机混淆的情况。

因此我们针对这个问题查询了相关资料。最终发现我们一开始没有搞清楚子网与子网的关系——我们可以将 1/24 的子网划分为两个/25 的子网，也可以划分为一个/25 的子网和两个/26 的子网等等，但是这些子网汇总后仍然是一个 C 类的/24 子网。还有路由器子网掩码最长匹配优先的转发原则也意味着如果存在两个不同的地址掩码可以计算出相同的网络号，则其一定存在包含关系，此时应该转发到最长匹配的网络地址，相对较短的则是该地址的父级地址；这一点在实现子网聚合的时候有深刻的体会。如图 7 所示，其实/24 的子网是包含了更长子网掩码（/25、/26 等）的子网的，故同一局域网种同一 IP 地址只能代表一个计算机，方案五不可行。

. 0/24	. 0/25	. 0/26	. 0/27	. 0/28	. 0/29
					. 8/29
				. 16/28	. 16/29
					. 24/29
			. 32/27	. 32/28	. 32/29
					. 40/29
				. 48/28	. 48/29
					. 56/29
		. 64/26	. 64/27	. 64/28	. 64/29
					. 72/29
				. 80/28	. 80/29
					. 88/29
			. 96/27	. 96/28	. 96/29
					. 104/29
				. 112/28	. 112/29
					. 120/29
	. 128/25	. 128/26	. 128/27	. 128/28	. 128/29
					. 136/29
				. 144/28	. 144/29
					. 152/29
			. 160/27	. 160/28	. 160/29
					. 168/29
				. 176/28	. 176/29
					. 184/29
		. 192/26	. 192/27	. 192/28	. 192/29
					. 200/29
				. 208/28	. 208/29
					. 216/29
			. 224/27	. 224/28	. 224/29
					. 232/29
				. 240/28	. 240/29
					. 248/29

图 7: 子网关系

### 2.3.3 对于方案四的优化及采用

对于方案四，经过优化的 IP 地址规划方案如图 8 所示。其中 D1 与 D2 子网相较于阶段一的方案四，原本均置于 172.16.0 网段，为了方便子网聚合，现将其均置于 172.16.1 网段。

且经过测试，该方案能够测通。由于方案四优于方案一、二、三，所以不再对其他方案进行考虑，后续都将使用优化后的方案四进行配置和测通。

## 2.4 静态路由配置

### 2.4.1 主机 IP 地址配置

对于主机，具体配置时，我们只需要配通同一子网下主机的最小地址和最大地址即可。例如，对于 A2 子网下 IP 地址最小的主机，记为 A2min。配置好的结果如图 9 所示。

其 IP 地址的配置过程如下：

- 选中 A2min，选择 Desktop 下的 IP Configuraion 选项。
- 将 IP 配置方式选择为 Static，即静态配置。
- 设置主机 A2min 的 IP 地址、子网掩码和网关，这三个参数已由图 8 给出，填入相应的位置即可。此外，还可以通过在命令行界面输入代码的形式进行配置，此处不予展示。

对于其他主机，IP 地址的配置方式是类似的，便不再赘述。

### 2.4.2 路由器端口 IP 地址配置

对于路由器端口 IP 地址的配置，以下分两种情况。

第一种是路由器端口与交换机端口相连。以路由器 B 的 Fa0/0 端口为例，其连接对应的是 B1 子网，则在相应界面的 IP 地址处填入 B1 子网的网关地址，子网掩码处填入 B1 子网的子网掩码。需要注意的是，要将端口的状态设置为“on”，即打开状态，同时也可将端口的带宽设置为“Auto”，即自动设置带宽。配置界面如

子网	IP地址 & 子网掩码	二进制 (网络ID+子网ID+主机/端口ID)
A2(90)	网络地址: 172.16.0.0	10101100 00010000 00000000 00000000
	主机地址: 172.16.0.1-90	10101100 00010000 00000000 0XXXXXX
	网关地址: 172.16.0.126	10101100 00010000 00000000 01111110
	广播地址: 172.16.0.127	10101100 00010000 00000000 01111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
B1(30)	网络地址: 172.16.0.128	10101100 00010000 00000000 10000000
	主机地址: 172.16.0.129-158	10101100 00010000 00000000 10XXXXXX
	网关地址: 172.16.0.190	10101100 00010000 00000000 10111110
	广播地址: 172.16.0.191	10101100 00010000 00000000 10111111
	子网掩码: 255.255.255.192/26	11111111 11111111 11111111 11000000
B2(20)	网络地址: 172.16.0.192	10101100 00010000 00000000 11000000
	主机地址: 172.16.0.193-212	10101100 00010000 00000000 110XXXXX
	网关地址: 172.16.0.222	10101100 00010000 00000000 11011110
	广播地址: 172.16.0.223	10101100 00010000 00000000 11011111
	子网掩码: 255.255.255.224/27	11111111 11111111 11111111 11100000
A1(10)	网络地址: 172.16.0.224	10101100 00010000 00000000 11100000
	主机地址: 172.16.0.225-234	10101100 00010000 00000000 1110XXXX
	网关地址: 172.16.0.238	10101100 00010000 00000000 11101110
	广播地址: 172.16.0.239	10101100 00010000 00000000 11101111
	子网掩码: 255.255.255.240/28	11111111 11111111 11111111 11110000
C1(70)	网络地址: 172.16.1.0	10101100 00010000 00000001 00000000
	主机地址: 172.16.1.1-70	10101100 00010000 00000001 0XXXXXX
	网关地址: 172.16.1.126	10101100 00010000 00000001 01111110
	广播地址: 172.16.1.127	10101100 00010000 00000001 01111111
	子网掩码: 255.255.255.128/25	11111111 11111111 11111111 10000000
D2(30)	网络地址: 172.16.1.128	10101100 00010000 00000001 10000000
	主机地址: 172.16.1.129-158	10101100 00010000 00000001 11XXXXXX
	网关地址: 172.16.1.190	10101100 00010000 00000001 10111110
	广播地址: 172.16.1.191	10101100 00010000 00000001 10111111
	子网掩码: 255.255.255.192/26	11111111 11111111 11111111 11000000
D1(5)	网络地址: 172.16.1.192	10101100 00010000 00000001 11000000
	主机地址: 172.16.1.193-197	10101100 00010000 00000001 11000XXX
	网关地址: 172.16.1.198	10101100 00010000 00000001 11000110
	广播地址: 172.16.1.199	10101100 00010000 00000001 11000111
	子网掩码: 255.255.255.248/29	11111111 11111111 11111111 11111000
路由器A-B	网络地址: 172.16.1.200	10101100 00010000 00000001 11001000
	端口地址: 172.16.1.201-202	10101100 00010000 00000001 110010XX
	广播地址: 172.16.1.203	10101100 00010000 00000001 11001011
	子网掩码: 255.255.255.252/30	11111111 11111111 11111111 11111100
路由器A-C	网络地址: 172.16.1.204	10101100 00010000 00000001 11001100
	端口地址: 172.16.1.205-206	10101100 00010000 00000001 110011XX
	广播地址: 172.16.1.207	10101100 00010000 00000001 11001111
	子网掩码: 255.255.255.252/30	11111111 11111111 11111111 11111100
路由器A-D	网络地址: 172.16.1.208	10101100 00010000 00000001 11010000
	端口地址: 172.16.1.209-210	10101100 00010000 00000001 110100XX
	广播地址: 172.16.1.211	10101100 00010000 00000001 11010011
	子网掩码: 255.255.255.252/30	11111111 11111111 11111111 11111100
路由器B-C	网络地址: 172.16.1.212	10101100 00010000 00000001 11010100
	端口地址: 172.16.1.213-214	10101100 00010000 00000001 110101XX
	广播地址: 172.16.1.215	10101100 00010000 00000001 11010111
	子网掩码: 255.255.255.252/30	11111111 11111111 11111111 11111100
路由器C-D	网络地址: 172.16.1.216	10101100 00010000 00000001 11011000
	端口地址: 172.16.1.217-218	10101100 00010000 00000001 110110XX
	广播地址: 172.16.1.219	10101100 00010000 00000001 11011011
	子网掩码: 255.255.255.252/30	11111111 11111111 11111111 11111100

图 8: 方案四 IP 地址规划方案优化



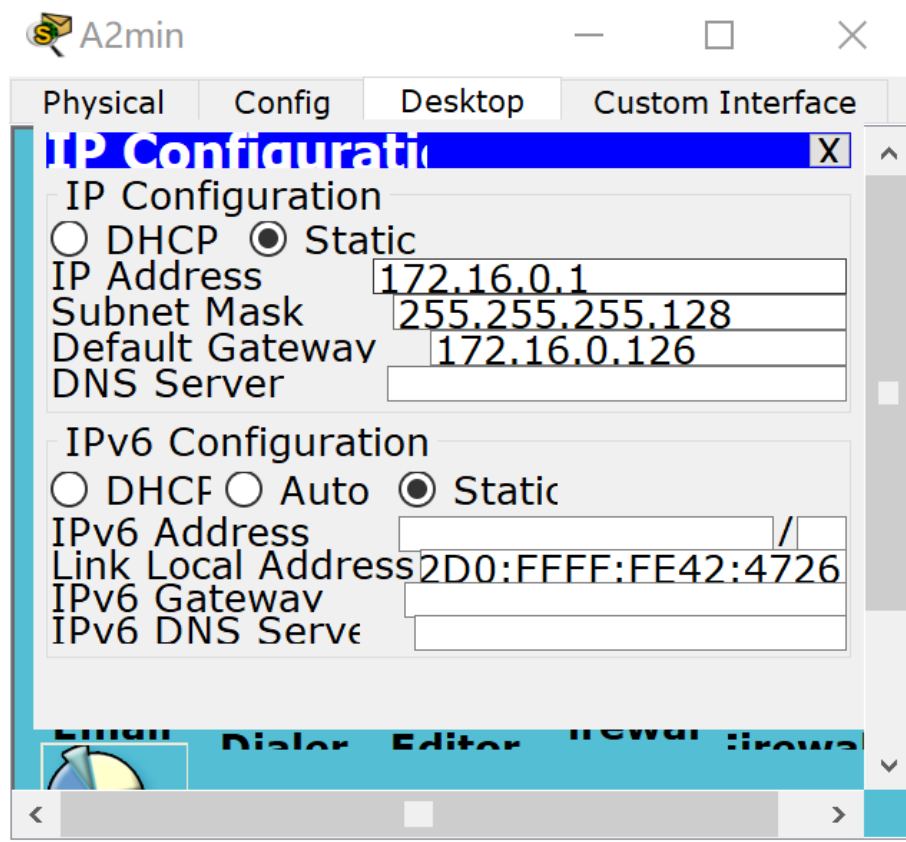


图 9: A2min 的 IP 配置图

图 10 所示。

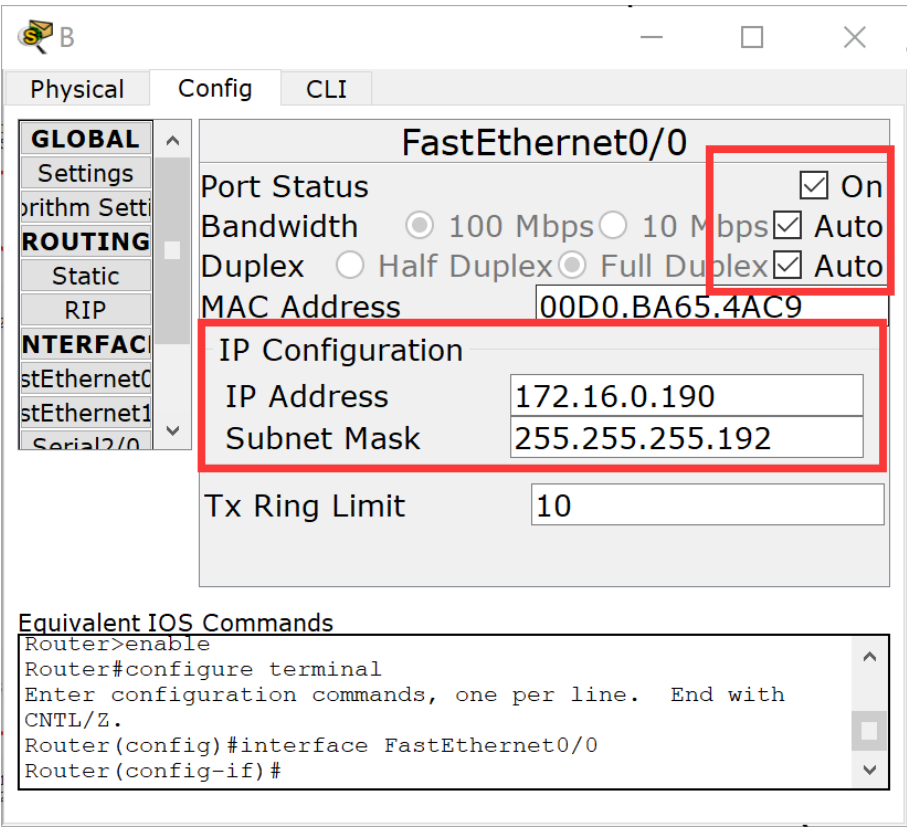


图 10: 路由器 B 的 Fa0/0 端口 IP 配置图

第二种是路由器与路由器的端口相连。以路由器 C 的 Fa7/0 端口为例，其连接的是路由器 D 的 Fa5/0 端口，则在相应界面的 IP 地址处填入路由器 C-D 子网下端口 C 的 IP 地址（图 9 中已给出），子网掩码处填入路由器 C-D 子网的子网掩码。同样的，要将端口的状态设置为“on”，即打开状态。配置界面如图 11 所示。

其他路由器的端口 IP 地址配置方式同理。

### 2.4.3 路由器静态路由配置

**需求分析** 对于路由器的静态路由配置，我们需要设置三个参数：需要达到的网络地址，子网掩码，下一跳的 IP 地址。

为了减少路由器需要设置的路径，我们考虑子网聚合；同时，考虑到路由器 A 下的子网含有服务器子网，可能较为繁忙，也为了减少 A 处的容灾，路由器 D 需要发往路由器 B 的数据将尽可能沿路由器 D-C-B 的路径传输（由于 B 与 D 之间没

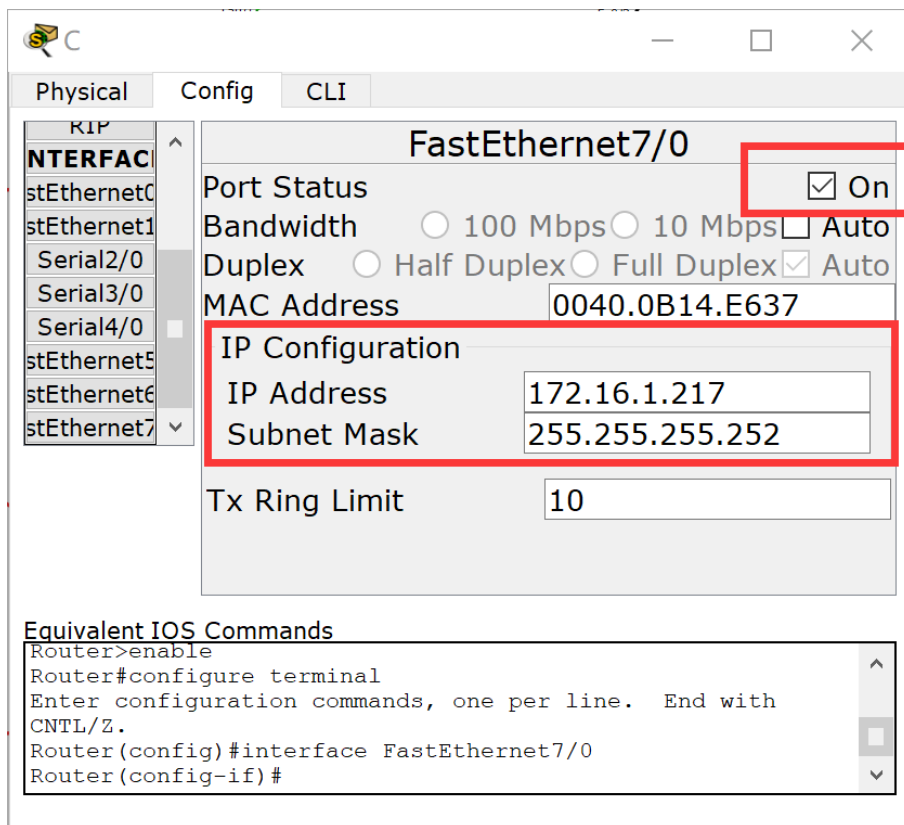


图 11: 路由器 C 的 Fa7/0 端口 IP 配置图

有线路直接相连），而少经过路由器 A；同理，路由器 B 发往路由器 D 的数据也是如此。

下面对各个路由器的静态路由配置分别展开分析。

**路由器 A** 对于路由器 A，其静态路由配置的路径如图 12 所示。

因为路由器 A 均与路由器 B，C，D 通过光纤直接相连，同时可以将 B1、B2 和 D1、D2 两两进行子网聚合，所以只需要配置三条路径。

对于图中的 **172.16.1.0/25 via 172.16.1.206** 这段，指的是路由器 A 到达 C1 子网所需要走的路径。我们需要进入 IOS Command Line Interface 窗口，即 CLI，在 C 命令行中输入 **ip route 172.16.1.0 255.255.255.128 172.16.1.206** 这段代码。其中 172.16.1.0 为 C1 子网的网络地址，255.255.255.128 为 C1 子网的子网掩码，172.16.1.206 即要到达路由器 C 下一跳需要经过的端口 IP 地址。

对于图中的 **172.16.0.128/25 via 172.16.1.202** 这段，指的是路由器 A 到

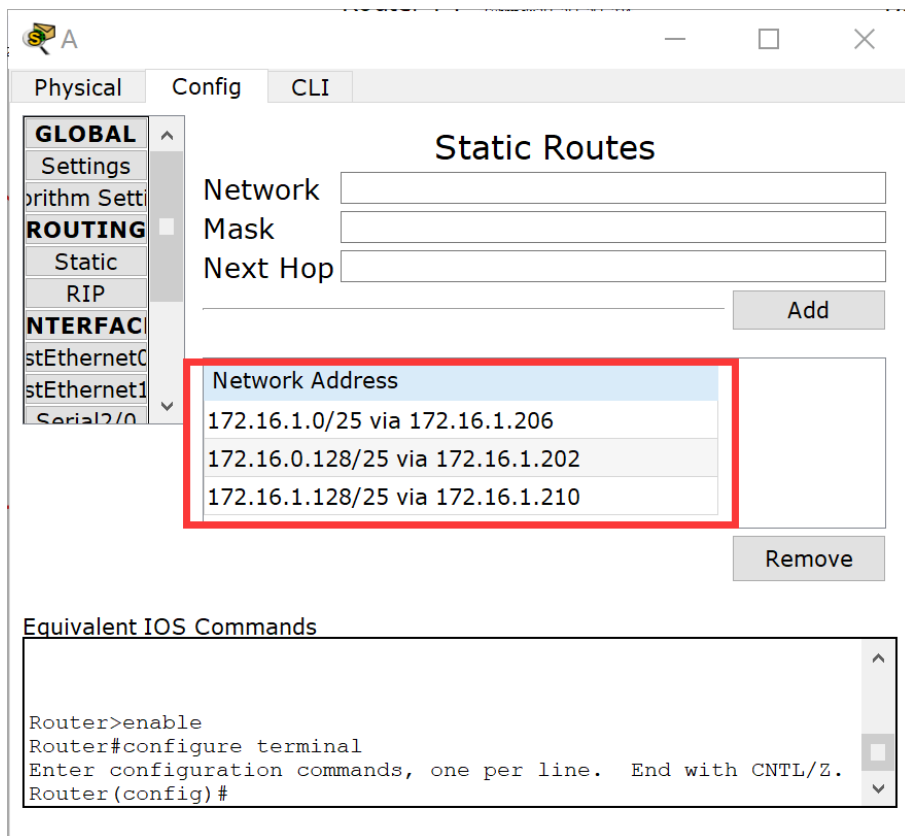


图 12: 路由器 A 静态路由配置路径

达 B1 和 B2 子网经过子网聚合后组成的超网所需要走的路径。由于 B1 的网络地址为 172.16.0.128/26，B2 的网络地址为 172.16.0.192/27，所以两个子网可以聚合成网络地址为 172.16.0.128/25 的超网。下一跳即为 A 到达路由器 B 需要经过的端口 IP 地址。

对于图中的172.16.1.128/25 via 172.16.1.210这段，指的是路由器 A 到达 D1 和 D2 子网经过子网聚合后组成的超网所需要走的路径。由于 D1 的网络地址为 172.16.1.192/29，D2 的网络地址为 172.16.1.128/26，所以两个子网可以聚合成网络地址为 172.16.1.128/25 的超网。下一跳即为 A 到达路由器 D 需要经过的端口 IP 地址。

**路由器 C** 由于路由器 C 和路由器 A 一样都和除本身外的其他路由器相连，所以先对路由器 C 进行讨论。其静态路由配置的路径如图 13 所示。

相较于路由器 A，路由器 C 多配了一条路径。这是因为在实际的配置过程中，

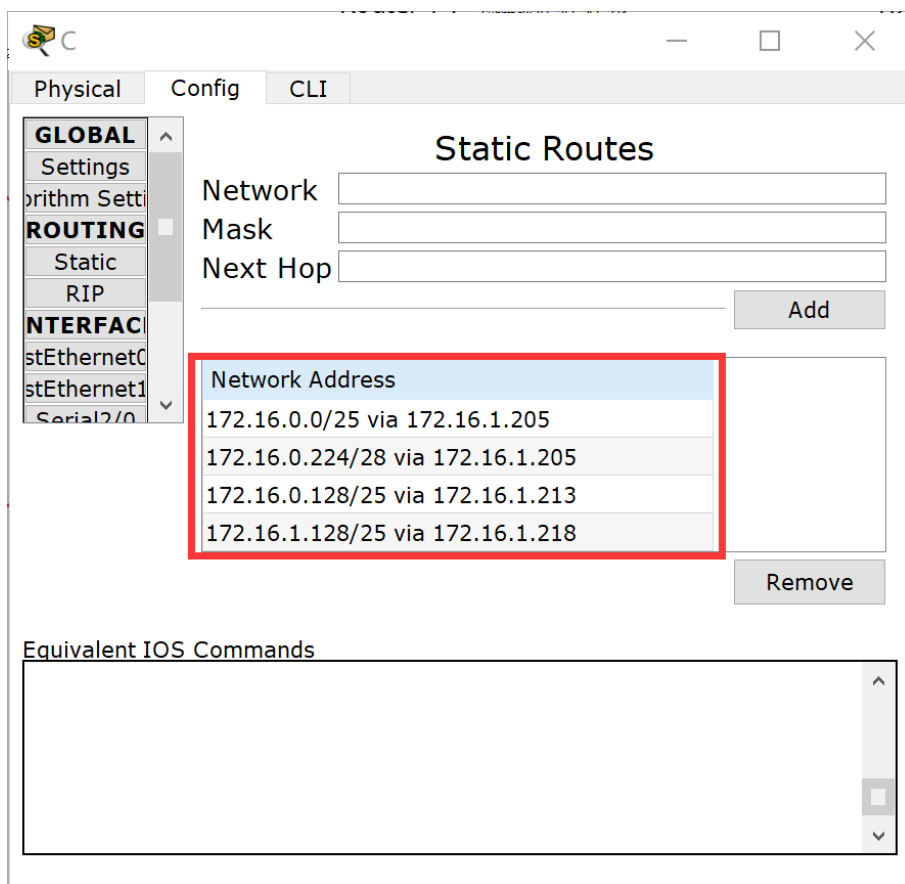


图 13: 路由器 C 静态路由配置路径

我们发现 A1 和 A2 两个子网较难实现子网聚合，所以对两个子网都分别配置了路径。图中的第一条路径和第二条路径分别表示的是到达 A2 子网和 A1 子网的路径，第三条路径为到达路由器 B 下 B1 与 B2 组成超网的路径，第四条路径为到达路由器 D 下 D1 与 D2 组成超网的路径。由于该部分的配置与路由器 A 类似，此处也不再多加赘述。

路由器 B 相较于前面所述的路由器 A 与路由器 C，路由器 B 只与路由器 A 与路由器 C 直接相连，所以对于需要传送到路由器 D 的路径，需要额外进行考虑。其静态路由配置的路径如图 14 所示。

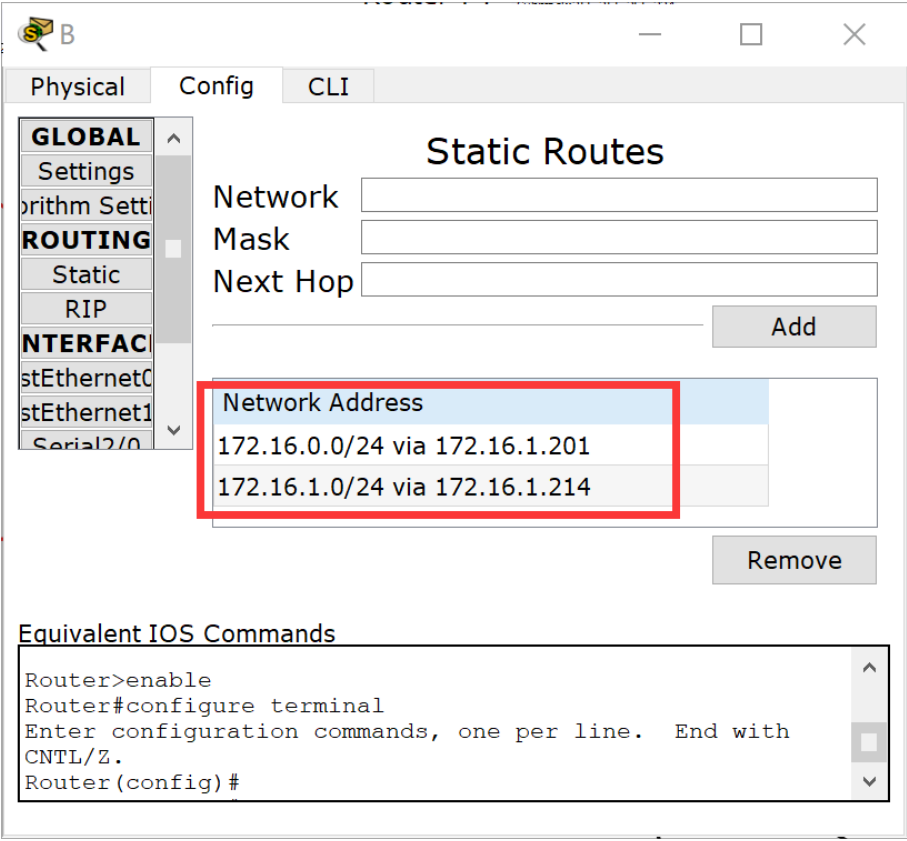


图 14: 路由器 B 静态路由配置路径

可以看到，对于路由器 B，我们配置了两条路径。在路由器 B 下，可以实现 A1 与 A2 的子网聚合。对于 172.16.0.0/24 via 172.16.1.201 这段，即到达 A1 和 A2 组合成的超网的路径。A1 的网络地址为 172.16.0.224/28，A2 的网络地址为 172.16.0.0/25，所以聚合后的网络地址为 172.16.0.0/24。

对于172.16.1.0/24 via 172.16.1.214这段，我们将 C1、D1 和 D2 聚合到一个超网下。C1 的网络地址为 172.16.1.0/25，D1 的网络地址为 172.16.1.192/29，D2 的网络地址为 172.16.1.128/26，所以聚合后的网络地址为 172.16.1.0/24。这儿将三个子网进行聚合，是为了使得路由器 B 向路由器 D 发送的数据包走路由器 C 这条路径，而不走路由器 A，防止 A 产生容灾；同时，也减少了需要配置路径的数量。

**路由器 D** 路由器 D 与路由器 B 较为类似，也只有两个端口与其他路由器相连，所以需要额外对传送到路由器 B 的数据进行考虑。其静态路由配置的路径如图 15 所示。

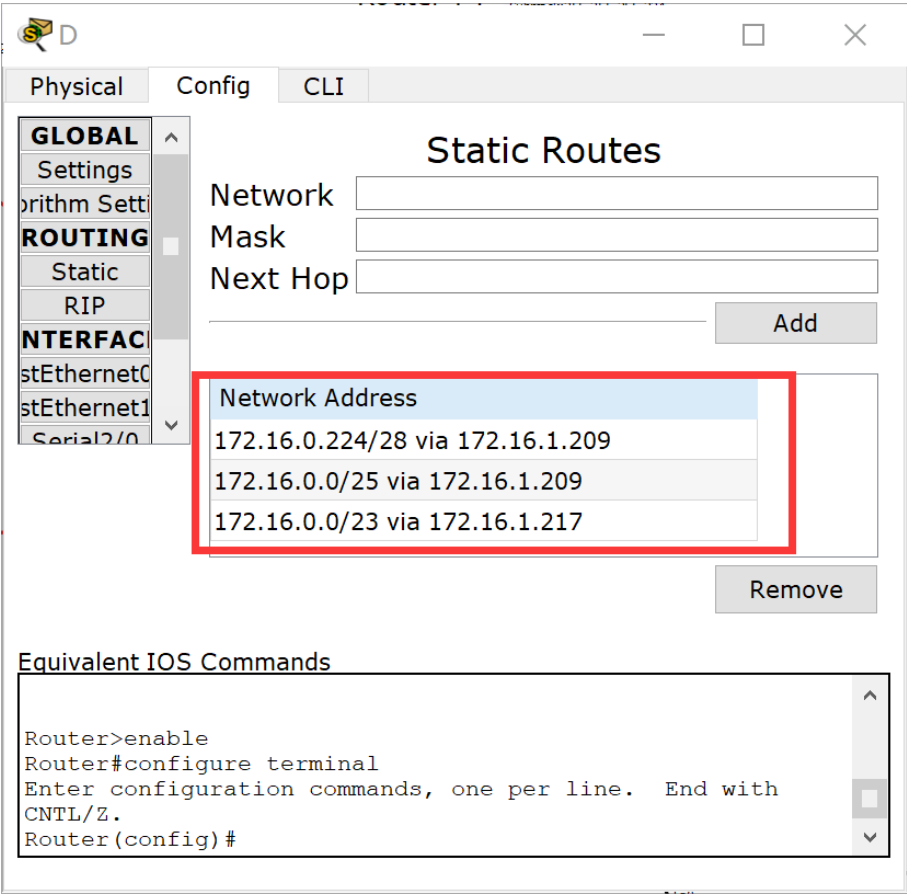


图 15: 路由器 D 静态路由配置路径

在配置的过程中，我们也发现对于 A1 子网和 A2 子网的聚合有些问题，所以对 A1 和 A2 分别配置了路径。即为图中的前两条路径。

对于第三条路径172.16.0.0/23 via 172.16.1.217，我们将 C1、B1 和 B2

进行了子网聚合。C1 的网络地址为 172.16.1.0/25, B1 的网络地址为 172.16.0.128/26, B2 的网络地址为 172.16.0.192/27, 所以聚合后的网络地址为 172.16.0.0/23。这儿将三个子网进行聚合的原因和路由器 B 的类似, 也是为了使路由器 B 向路由器 D 发送的数据包走路由器 C 这条路径, 而不走路由器 A, 同时也减少路径数量。

这时候, 可能会发现, 第二条路径和第三条路径的子网掩码虽然不同, 但网络地址均为 172.16.0.0, 似乎会出现矛盾。但是, 由于路由器的路由采用最长匹配原则 (选路时选择最长掩码匹配), 所以对于发送到路由器 A 的数据包, 则根据上述原则, 会直接发往路由器 A; 对于发送到路由器 C 或路由器 B 的数据包, 先根据上述原则, 会发现与第二条路径不匹配, 所以还是会往第三条路径进行发送, 故不会产生冲突。

## 2.5 静态路由配通结果展示

对于配通的结果, 各分块给出几个典型的例子。

### 2.5.1 服务器子网配通

任意打开一个除 A1 子网下的主机, 如取 D1min, 在 Desktop 的 Web Browser 界面的 URL 处输入服务器 A1min 的 IP 地址 (172.16.0.225), 得到如图 16 所示的界面, 说明服务器子网配通成功。

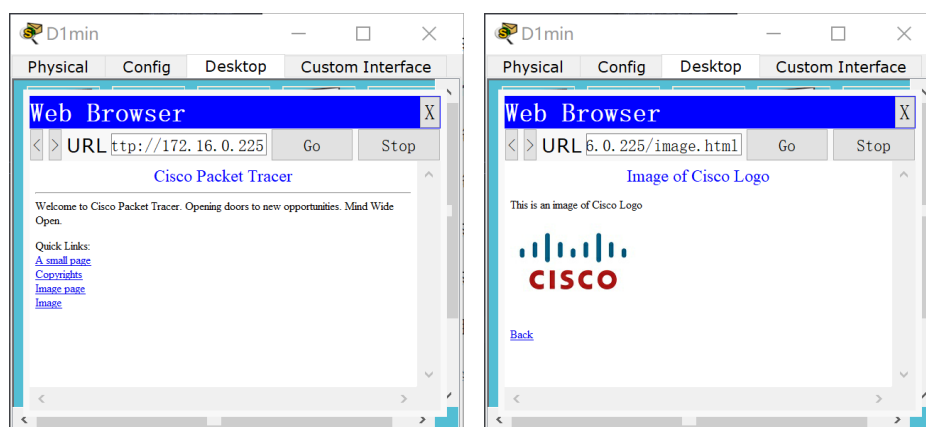


图 16: 服务器子网配通结果



### 2.5.2 同一路由器下的子网配通

同一交换机下 以 A2min 和 A2max 为例，在 A2min 的界面 ping A2max 的 IP 地址，并使用 tracert 命令查看路径，结果如图 17 所示，可知成功配通。

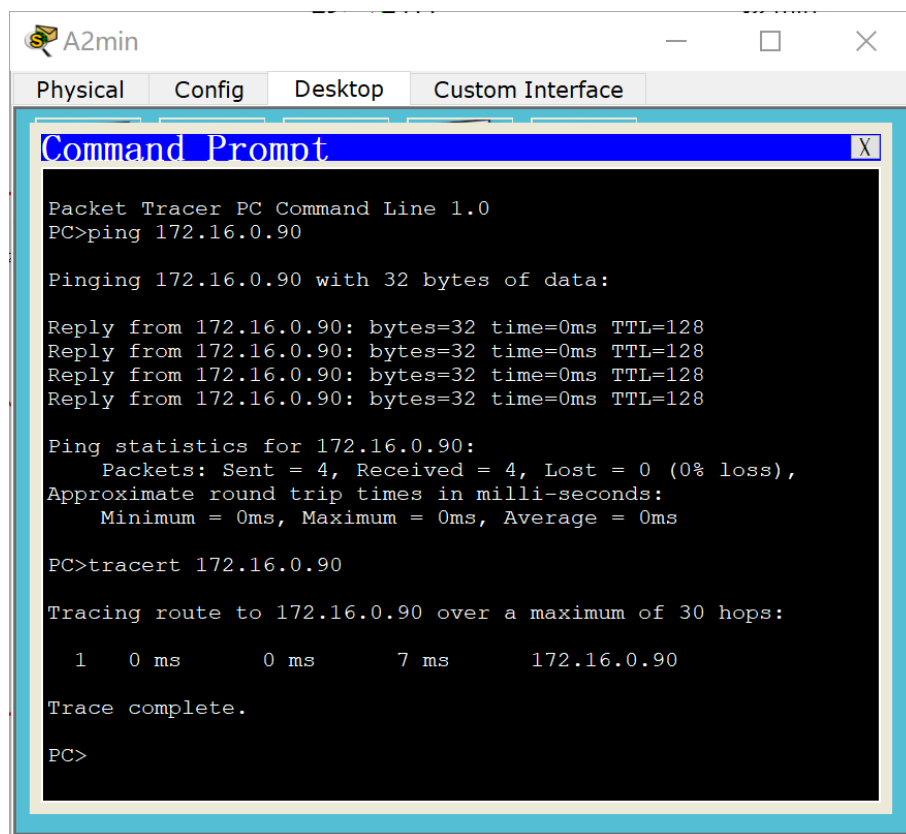


图 17: 测试 A2mi 与 A2max 结果

不同交换机下 以 D1max 和 D2max 为例，在 D1max 的界面 ping D2max 的 IP 地址，并使用 tracert 命令查看路径，结果如图 18 所示，可知成功配通。

### 2.5.3 不同路由器下的子网配通

以 B1min 和 C1min 为例，在 B1min 的界面 ping C1min 的 IP 地址，并使用 tracert 命令查看路径，结果如图 19 所示，可知成功配通。

由 tracert 命令结果，B1min 传输数据给 C1min 时，先经过 B1 子网的网关 172.16.0.190，再经过路由器 B-C 子网下的 C 端口地址 172.16.1.214，最后到达 C1min，即 172.16.1.1。

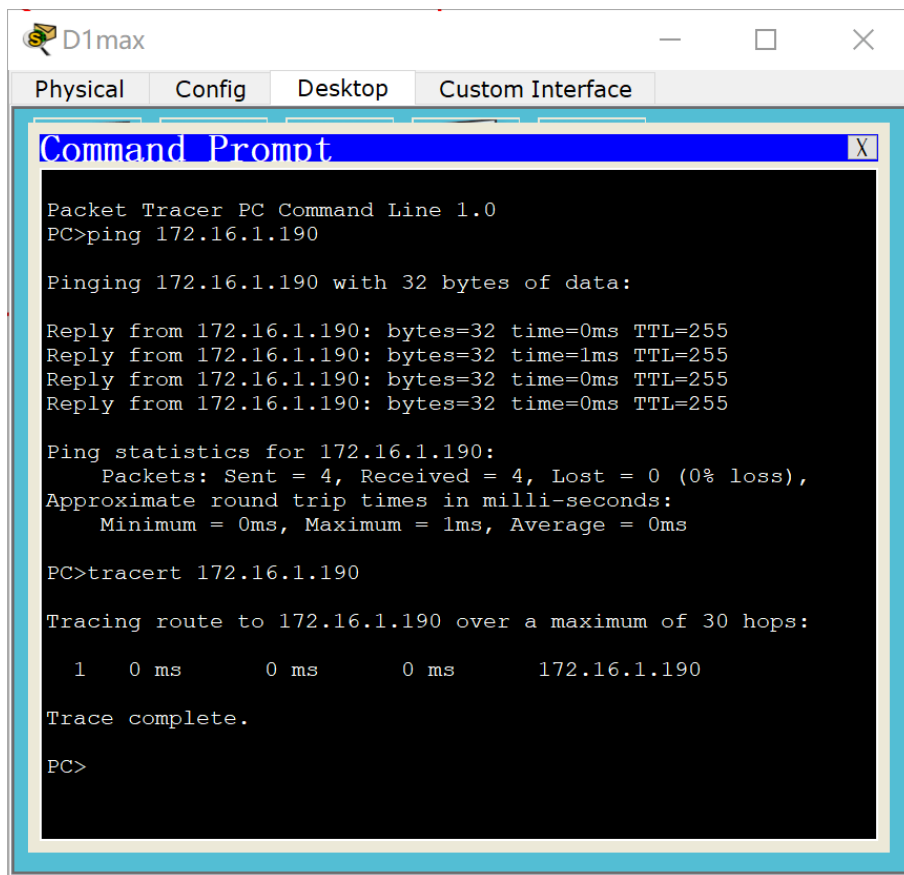


图 18: 测试 D1max 与 D2max 结果

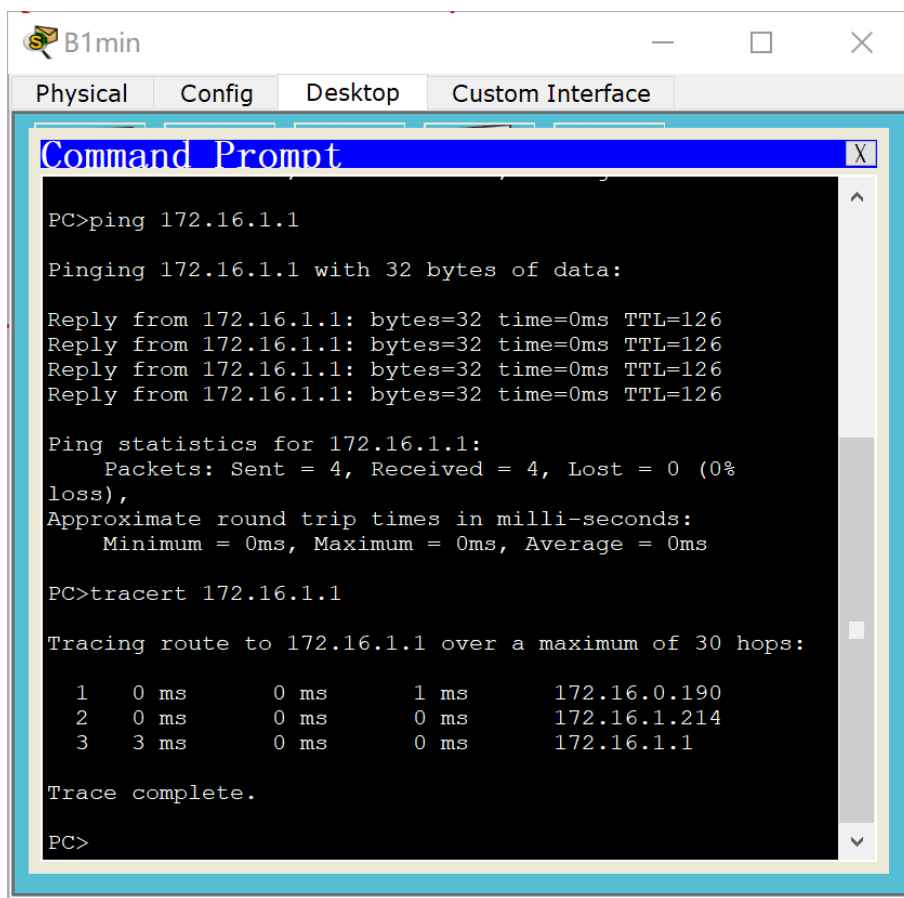


图 19: 测试 B1min 与 C1min 结果

以 D2min 和 B2min 为例，在 D2min 的界面 ping B2min 的 IP 地址，并使用 `tracert` 命令查看路径，结果如图 20 所示，可知成功配通。

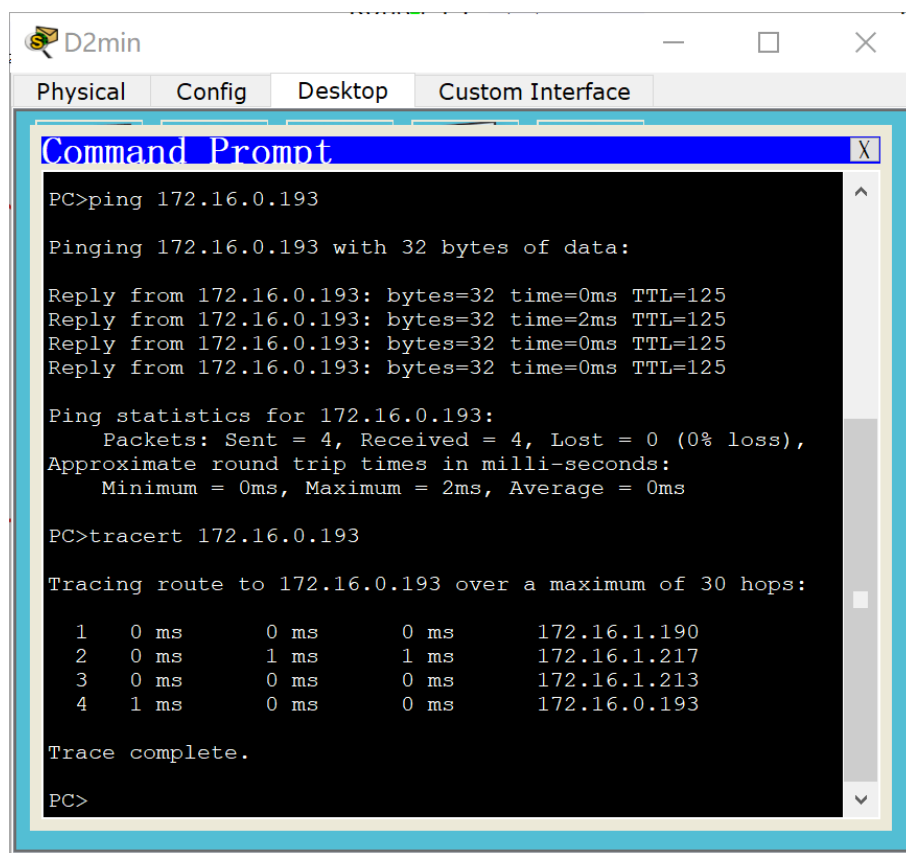


图 20: 测试 D2min 与 B2min 结果

由 `tracert` 命令结果，D2min 传输数据给 B2min 时，依次经过 D2 子网的网关 172.16.1.190，路由器 C-D 子网下的 C 端口地址 172.16.1.217，路由器 B-C 子网下的 B 端口地址 172.16.1.213，最后到达 B2min，即 172.16.0.193。即经过的是路由器 C，而不过路由器 A，与预期相符。

经过测试，各个主机间均能配通，读者可自行使用我们构建的 `.pkt` 文件进行验证。在此只例举这几个较为典型的例子进行讲解，其他都是类似的。

## 2.6 动态路由配置

在动态路由配置中，我们采用 `rip` 协议进行配置。由于第 2 版的 `rip` 协议性能优于第 1 版，故在配置动态路由的过程中均使用第 2 版的 `rip` 协议。

在配置静态路由成功的拓扑上，我们进一步配置动态路由。因为测试动态路由时，可以关闭相应的端口，来测试动态路由是否配置成功。

对于每一个路由器，我们需要对路由器下的子网，以及端口类型为连接另一路由器的端口进行路由配置。以路由器 A 为例，在命令行界面输入如图 21 所示的代码。



```
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 8 subnets, 3 masks
C    172.16.0.0/25 is directly connected, FastEthernet1/0
S    172.16.0.128/25 [1/0] via 172.16.1.202
C    172.16.0.224/28 is directly connected, FastEthernet0/0
S    172.16.1.0/25 [1/0] via 172.16.1.206
S    172.16.1.128/25 [1/0] via 172.16.1.210
C    172.16.1.200/30 is directly connected, FastEthernet5/0
C    172.16.1.204/30 is directly connected, FastEthernet6/0
C    172.16.1.208/30 is directly connected, FastEthernet7/0
Router>
Router>enable
Router#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#router rip
Router(config-router)#version 2
Router(config-router)#no auto-summary
Router(config-router)#network 172.16.1.200
Router(config-router)#network 172.16.1.204
Router(config-router)#network 172.16.1.208
Router(config-router)#network 172.16.0.224
Router(config-router)#network 172.16.0.0
Router(config-router)#
```

图 21: 路由器 A 动态路由配置

图中，以#network开头的 5 行代码是较为主要的配置代码，前三个 IP 地址（172.16.1.200，172.16.1.204，172.16.1.208）对应的是相应端口的网络地址，后两个 IP 地址（172.16.0.224，172.16.0.0）对应的是子网 A1 和 A2 的网络地址。

对于其他三个路由器，配置过程也是类似的。

## 2.7 动态路由配通结果展示

### 2.7.1 动态路由由配置检验

首先，我们可以通过对比动态路由配置前后的路由器路由来判断动态路由是否配置成功。以路由器 B 为例，其配置前后的路由对比如图 22 所示。

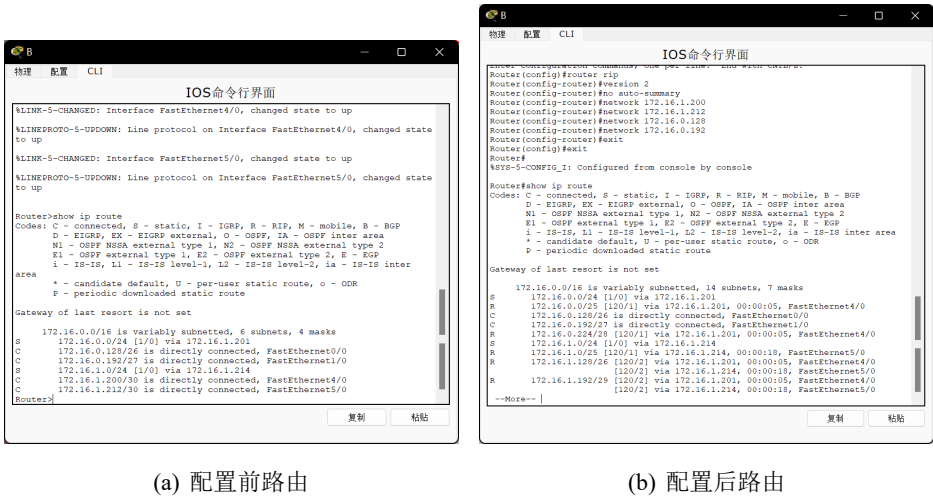


图 22: 路由器 B 动态路由配置前后对比

可以看到配置后，路由中出现了以 R 开头的路径，即说明这是 rip 协议生成的动态路由。

### 2.7.2 动态路由配通测试

下面对动态路由是否配通进行测试。以路由器 A 下的 A1min 和路由器 D 下的 D1min 之间的通信为例。

我们关闭路由器 A 的 Fa7/0 端口，如图 23 所示，此端口负责连接路由器 D。在我们之前的静态路由配置中，A 和 D 之间发送数据时，是通过 A 与 D 之间的光纤发送的，关闭该端口也即意味着此时 A 与 D 之间的通信断开。

我们使用 `tracert` 命令，来打印 D1min 至 A1min 在关闭路由器 A 的 Fa7/0 端口前后所经过的路径。如图 24 所示。

由图 24，前一个为关闭端口前所经过的路径；后一个为关闭端口后的路径。对于前一个路径，我们知道，该路径即为静态路由下的路径，即 D-A；对于后一个

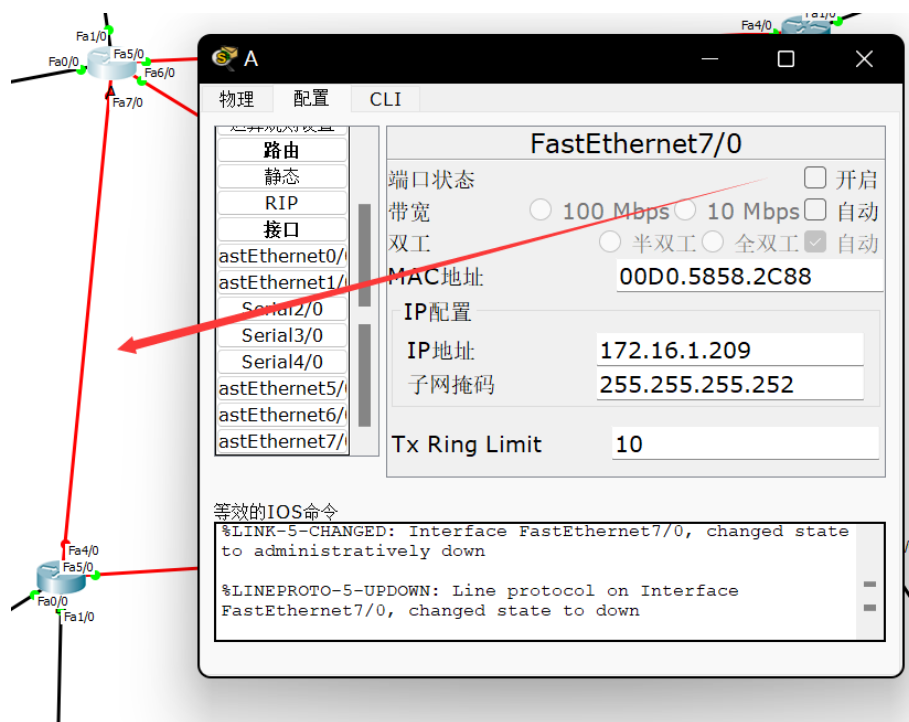


图 23: 关闭路由器 A 的 Fa7/0 端口



图 24: 关闭路由器 A 的 Fa7/0 端口前后路径对比

路径，我们发现路径为 D-C-A，而这是我们之前配置静态路由时所不曾有的路径，说明这是动态路由的结果，即动态路由成功配通。

对于其他的路径，读者可使用我们构建的 .pkt 文件，关闭相应的端口，或者直接删除原本的静态路由来进一步检验我们动态路由配置的正确性。

## 三、阶段三

### 3.1 问题分析

在阶段三，我们主要需要完成以下要求：

- 利用 Packet Tracert 的 Run Time 功能，观测报文传输过程。
- 对报文的传输过程进行分析。

### 3.2 报文传输过程分析

#### 3.2.1 同一子网（交换机）下传输过程

刚初始化，MAC 表项与 ARP 表项为空的情况下，不妨以 A2min 与 A2max 之间的传输过程为例。

在 A2min 的终端输入 `ping 172.16.0.90`，即 A2max 的 IP 地址，切换到 Simulation 模式进行测试。以下对报文一步步的传输过程进行分析。需要注意的是，在不同情况下，报文传输过程可能会有细微的差别，本文以该次的传输情况为例。

Step1: A1min 发送一个 ICMP 测试报文，并查找自身的 ARP 表，会发现表中无相应的匹配表项，而目的 IP 地址和自身 IP 地址处于同一个子网下，所以发送一个目标 IP 地址为 172.16.0.90 的 ARP 请求报文。两报文的主要内容如图 25 所示，报文传输界面如图 26 所示。

Step2: 交换机 A2 接收到 ARP 请求报文，自学习 A2min 的 MAC 地址。此时各交换机开始发送 STP 报文，使得 A2 收到的 ARP 请求报文没有进一步得到转发，如图 27 所示。交换机此时的 MAC 表如图 28 所示

Step3: 由于 A2 收到的 ARP 请求报文没有得到转发，ICMP 报文超过了其生存时间，所以该 ICMP 报文被丢弃。如图 29 所示。



At Device: A2min  
Source: A2min  
Destination: 172.16.0.90

In Layers	Out Layers
Layer7	Layer7
Layer6	Layer6
Layer5	Layer5
Layer4	Layer4
Layer3	Layer 3: IP Header Src. IP: 172.16.0.1, Dest. IP: 172.16.0.90 ICMP Message Type: 8
Layer2	Layer 2:
Layer1	Layer1

1. The Ping process starts the next ping request.  
2. The Ping process creates an ICMP

At Device: A2min  
Source: A2min  
Destination: Broadcast

In Layers	Out Layers
Layer7	Layer7
Layer6	Layer6
Layer5	Layer5
Layer4	Layer4
Layer3	Layer3
Layer2	Layer 2: Ethernet II Header 00D0.FF42.4726 >> FFFF.FFFF.FFFF ARP Packet Src. IP: 172.16.0.1, Dest. IP: 172.16.0.90
Layer1	Layer 1: Port(s): FastEthernet0

1. The ARP process constructs a request

图 25: ICMP 与 ARP 请求报文

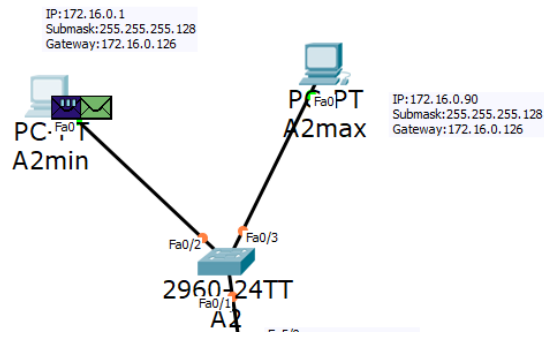


图 26: 报文传输过程 1

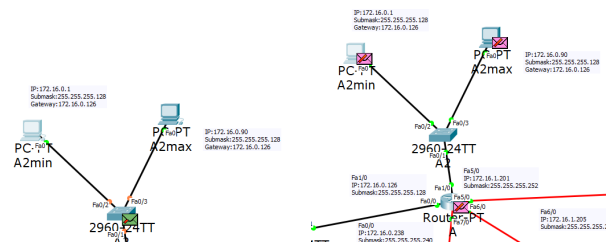


图 27: 报文传输过程 2

```
Switch>show mac address-table
Mac Address Table
-----
Vlan    Mac Address      Type    Ports
----
1       00d0.ff42.4726   DYNAMIC Fa0/2
```

图 28: 交换机 MAC 表

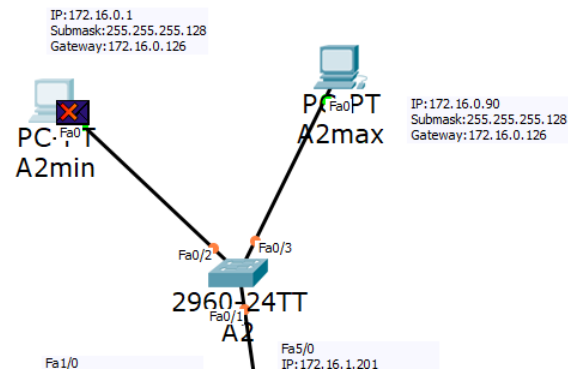


图 29: 报文传输过程 3

Step4: A2min 重新发送第二个 ICMP 报文，并再次发送 ARP 请求报文。如图 30所示。

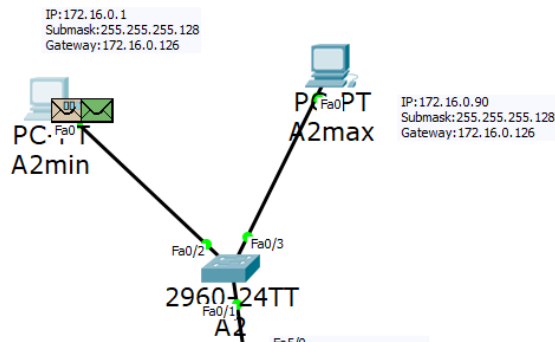


图 30: 报文传输过程 4

Step5: 交换机 A2 收到 ARP 请求报文后，向其余端口转发该报文。如图 31所示。

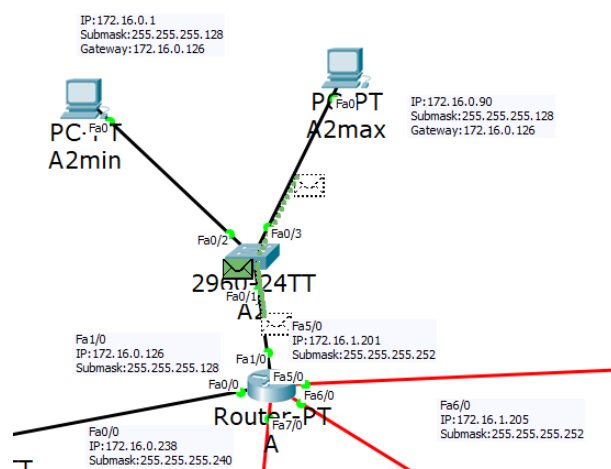


图 31: 报文传输过程 5

Step6: A2max 收到 ARP 请求报文后，对比自身的 IP 地址与报文中的目的 IP 地址，发现相同，从接收到的端口回发 ARP 应答报文；路由器 A 也进行同样的操作，发现不相同，则将 ARP 请求报文直接丢弃。报文传输界面如图 32 所示

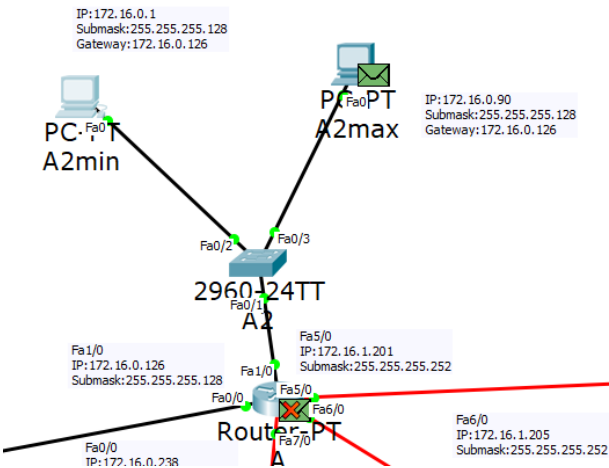


图 32: 报文传输过程 6

Step7: A2max 从接收到的端口回发 ARP 应答报文。有关 A2max 接收到的 ARP 请求报文以及将要发送的 ARP 应答报文主要内容如图 33 所示，从图中可以看到，其将要发送的 ARP 应答报文在头部增加了 A2max 的 MAC 地址，即0002.4AC3.6DAC。

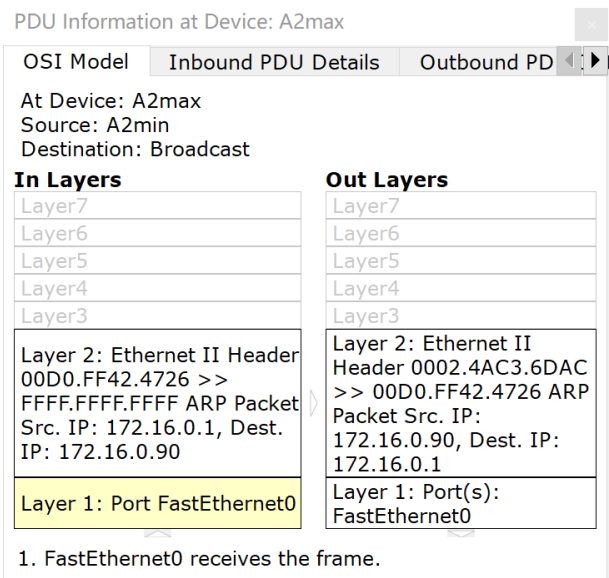


图 33: Axmax 相关的 ARP 请求与应答报文

Step8: 交换机 A2 接收到 A2max 的 ARP 应答报文，自学习 A2max 的 MAC 地

址。由于 Step2 中 A2 已学习了 A2min 的 MAC 地址（即连接 A2min 的端口相对应的 MAC 地址），所以将该 ARP 应答报文直接转发至 A2min。此时交换机此时的 MAC 表如图 34 所示。

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

Vlan	Mac Address	Type	Ports
1	0002.4ac3.6dac	DYNAMIC	Fa0/3
1	00d0.ff42.4726	DYNAMIC	Fa0/2

图 34: 交换机 MAC 表

Step9: A2min 接收到 ARP 应答报文后，增加相应的 ARP 表项。A2min 此时的 ARP 表如图35 所示。

```
PC>arp -a
```

Internet Address	Physical Address	Type
172.16.0.90	0002.4ac3.6dac	dynamic

图 35: A2min 的 ARP 表

Step10: 此时 A2min 查找 ARP 表，得知 A2max 的 MAC 地址，将 ICMP 报文发送出去。后序的过程不再赘述，即该 ICMP 报文经过 A2 到达 A2max，A2max 回发的 ICMP 报文经过 A2 到达 A1min，达成一次 ping 通。

Step11: 由于 ping 的次数默认为 4 次，后续两个报文均成功到达，结果如图 36 所示，即第一次超时丢弃，后三次 ping 通。

### 3.2.2 同一路由器、不同交换机下传输过程

刚初始化，MAC 表项与 ARP 表项为空的情况下，不妨以 B1min 与 B2min 之间的传输过程为例。

在 B1min 的终端输入 ping 172.16.0.193，即 B2min 的 IP 地址，切换到 Simulation 模式进行测试。以下对报文一步步的传输过程进行分析。需要注意的是，在不同情况下，报文传输过程可能会有细微的差别，本文以该次的传输情况为例。

Step1: B1min 发送一个 ICMP 测试报文，并查找自身的 ARP 表，会发现表中无相应的匹配表项，而目的 IP 地址与自身 IP 地址处于不同的子网下，所以将目标

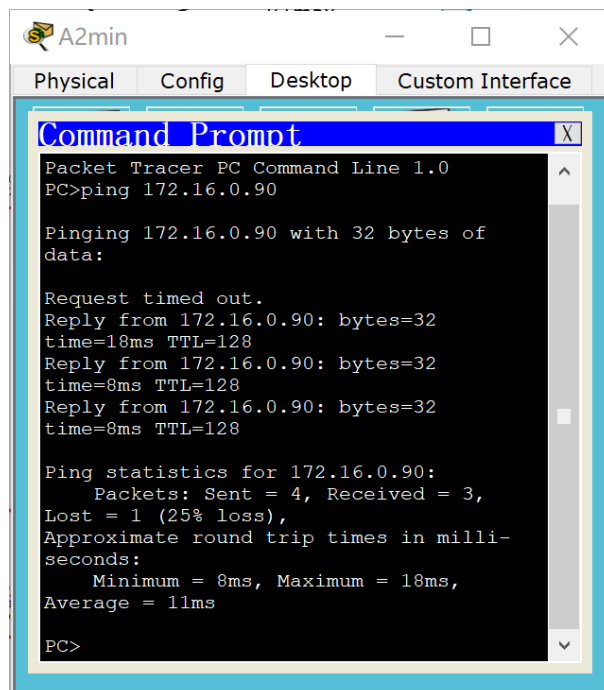


图 36: A2min ping A2max 结果

IP 地址置为自身子网网关的地址，发送一个目标 IP 地址为 172.16.0.190 的 ARP 请求报文。ARP 请求报文及报文传输界面如图 37 所示。

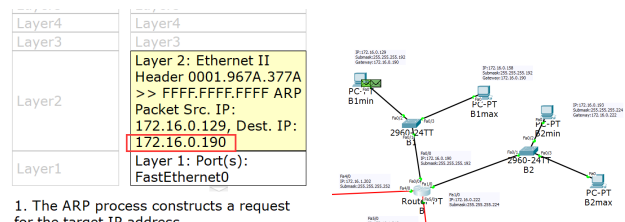


图 37: 报文传输过程 2

Step2: 交换机 B2 收到 ARP 请求报文，自学习 B1min 的 MAC 地址，向其他端口转发 ARP 请求报文，如图 38 所示。

Step3: B1max 收到 ARP 请求报文后，对比自身的 IP 地址与报文中的目的 IP 地址，发现不相同，将 ARP 请求报文直接丢弃；路由器 B 收到 ARP 请求报文后，对比接收端口的 IP 地址和报文中的目的 IP 地址，发现相同，回发 ARP 应答报文。报文传输界面如图 39 所示。

Step4: 交换机 B1 接收到 ARP 应答报文，查询 MAC 表，将 ARP 应答报文发送至 B1min。

Step5: B1min 收到 ARP 应答报文，得到路由器 B 相应端口的 MAC 地址，发

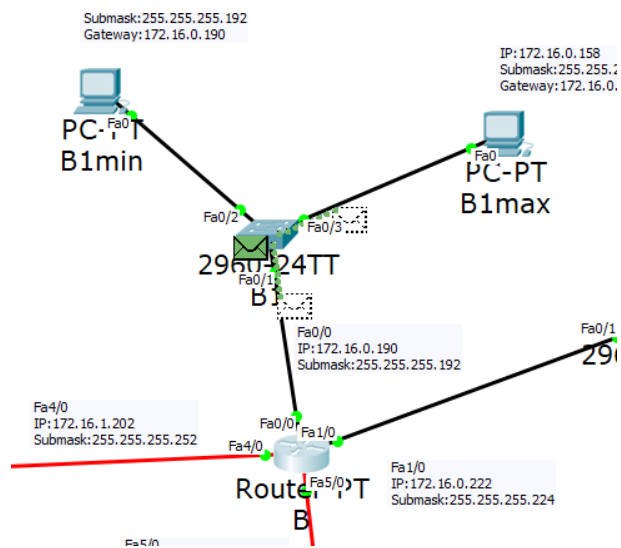


图 38: 报文传输过程 2

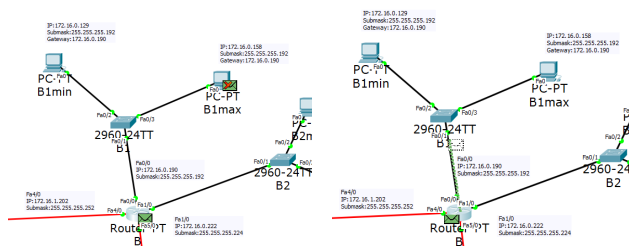


图 39: 报文传输过程 3

送出 ICMP 报文。

Step6: ICMP 报文到达路由器 B 后，路由器 B 发现目标地址并不是任何一个自己端口的 IP 地址，所以匹配不成功，并且此时，ICMP 报文超时，丢弃。路由器查找自身的路由表，发现下一跳为端口 Fa1/0，所以向端口 Fa1/0 发送 ARP 请求报文。报文传输界面如图 40 所示。

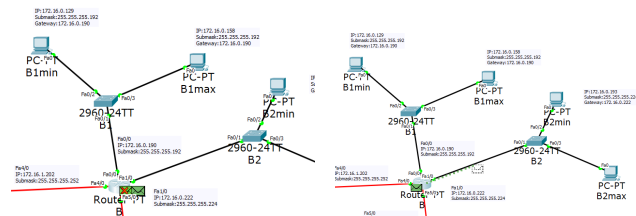


图 40: 报文传输过程 6

Step7: 交换机 B2 接收到 ARP 请求报文后，自学习 MAC 地址，向其他端口转发 ARP 请求报文。

Step8: B2min 收到 ARP 请求报文后，对比自身的 IP 地址与报文中的目的 IP 地址，发现相同，封装自己的 MAC 地址，回发 ARP 应答报文；B2max 收到 ARP 请求报文后，对比自身的 IP 地址与报文中的目的 IP 地址，发现不相同，直接丢弃该报文。

Step9: ARP 应答报文经过交换机 B2 到达路由器 B，B 在自身的 ARP 表中填写相应的 ARP 表项。

Step10: B1min 再次发送 ICMP 报文，此时相应的路径已经建立，ICMP 报文依次经过 B1，B，B2，到达 B2min；B2min 回发 ICMP 报文，依次经过 B2，B，B1，到达 B1min，一次 ping 通。

Step11: 由于 ping 的次数默认为 4 次，后续两个报文均成功到达，结果如图 41 所示，即第一次超时丢弃，后三次 ping 通。

经过整个过程后，交换机 B1 和 B2 的 MAC 表如图 42 所示。B1 的 MAC 表中存储了 B1min 和路由器 B 的 Fa0/0 端口的 MAC 地址；B1 的 MAC 表中存储了 B2min 和路由器 B 的 Fa1/0 端口的 MAC 地址；

B1min 和路由器 B 的 ARP 表如图 43 所示。B1min 的 ARP 表中存储了一个表项，即网关地址对应路由器 Fa0/0 端口的 MAC 地址。路由器 B 的 ARP 表中表项

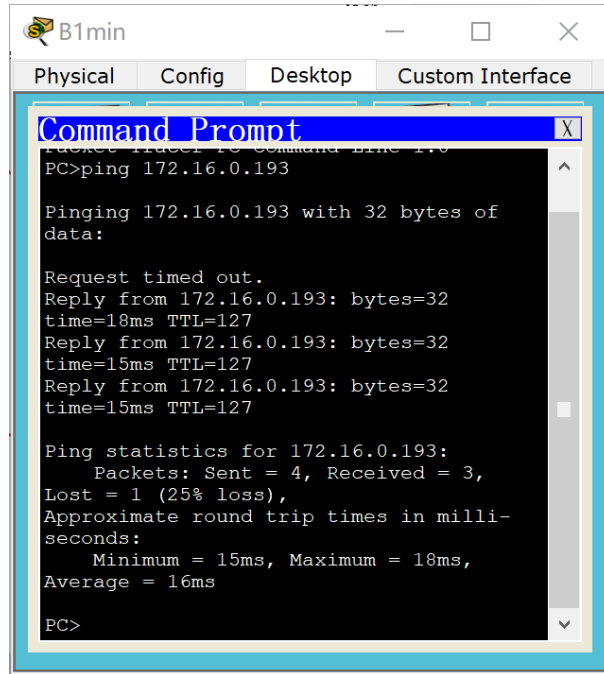


图 41: B1min ping B2min 结果

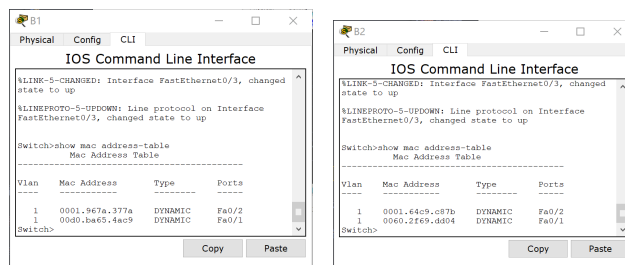


图 42: 交换机 B1 和 B2 的 MAC 表



较多，其中有四项是路由器已使用端口的 IP 地址及其对应的 MAC 地址，是自身自动设置完成的；第一项和第三项是过程中新学习的，第一项为 B1min 的 IP 地址及其对应 MAC 地址，第三项为 B2min 的 IP 地址及其对应 MAC 地址。

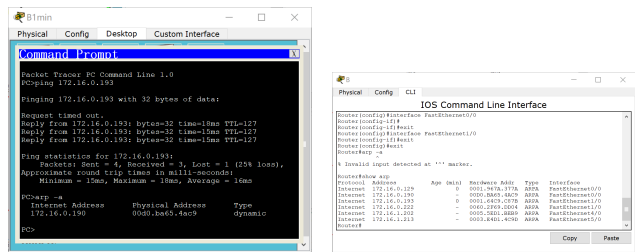


图 43: B1min 和路由器 B 的 ARP 表

3.2.3 不同路由器下传输过程

刚初始化，MAC 表项与 ARP 表项为空的情况下，不妨以 C1min 与 D1min 之间的传输过程为例。

在 C1min 的终端输入 ping 172.16.1.193，即 D1min 的 IP 地址，切换到 Simulation 模式进行测试。以下对报文一步步的传输过程进行分析。需要注意的是，在不同情况下，报文传输过程可能会有细微的差别，本文以该次的传输情况为例。

Step1: C1min 发送一个 ICMP 测试报文，并查找自身的 ARP 表，会发现表中无相应的匹配表项，而目的 IP 地址与自身 IP 地址处于不同的子网下，所以将目标 IP 地址置为自身子网下网关的地址，发送一个目标 IP 地址为 172.16.1.126 的 ARP 请求报文。ARP 请求报文及报文传输界面如图 44 所示。

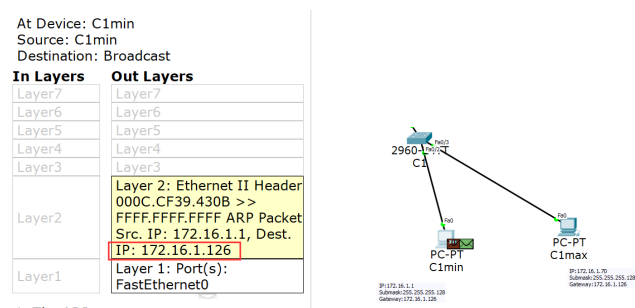


图 44: 报文传输过程 1

Step2: 交换机 C1 收到 ARP 请求报文，向其他端口转发 ARP 请求报文。

Step3: C1max 收到 ARP 请求报文后，对比自身的 IP 地址与报文中的目的 IP 地址，发现不相同，将 ARP 请求报文直接丢弃；路由器 C 收到 ARP 请求报文后，对比接收端口的 IP 地址和报文中的目的 IP 地址，发现相同，回发 ARP 应答报文。

Step4: 交换机 C1 接收到 ARP 应答报文，查询 MAC 表，将 ARP 应答报文发送至 C1min。

Step5: C1min 收到 ARP 应答报文，得到路由器 C 相应端口的 MAC 地址，发送出 ICMP 报文。

Step6: ICMP 报文到达路由器 C 后，路由器 C 发现目标地址并不是任何一个自己端口的 IP 地址，所以匹配不成功，并且此时，ICMP 报文超时，丢弃。路由器查找自身的路由表，发现下一跳的出端口为 Fa7/0，所以向端口 Fa7/0 发送 ARP 请求报文。在之前的配置中，C 的 Fa7/0 端口 IP 地址为 172.16.1.217，D 的 Fa5/0 端口 IP 地址为 172.16.1.218。ARP 请求报文的内容及报文传输界面如图 45 所示。

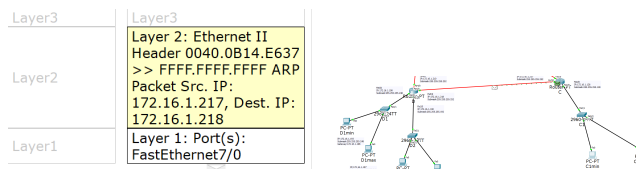


图 45: 报文传输过程 6

Step7: 路由器 D 收到 ARP 请求报文后，对比接收端口的 IP 地址和报文中的目的 IP 地址，发现相同，回发 ARP 应答报文。报文传输界面如图 46 所示。

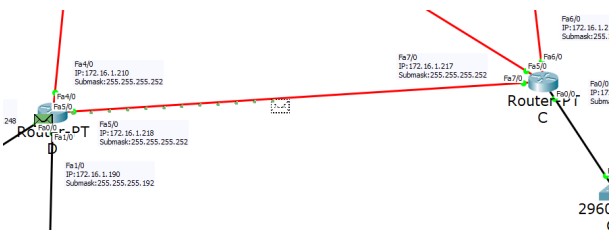


图 46: 报文传输过程 7

Step8: C1min 第二次发送 ICMP 报文。此时，报文顺利得经过 C1，C 到达 D。

Step9: ICMP 报文到达路由器 D 后，路由器 D 发现目标地址并不是任何一个自己端口的 IP 地址，所以匹配不成功，并且此时，ICMP 报文超时，丢弃。路由器查找自身的路由表，发现下一跳的出端口为 Fa0/0，所以向端口 Fa0/0 发送 ARP 请求报文。报文传输界面如图 47 所示。

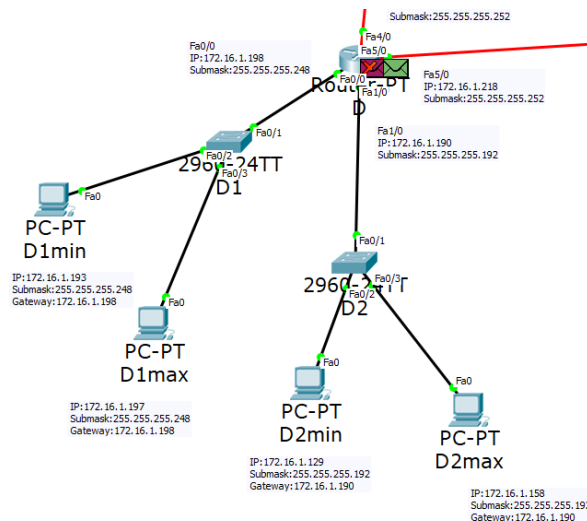


图 47: 报文传输过程 9

Step10: 交换机 D1 接收到 ARP 请求报文后，自学习 MAC 地址，向其他端口转发 ARP 请求报文。

Step11: D1min 收到 ARP 请求报文后，对比自身的 IP 地址与报文中的目的 IP 地址，发现相同，封装自己的 MAC 地址，回发 ARP 应答报文；D1max 收到 ARP 请求报文后，对比自身的 IP 地址与报文中的目的 IP 地址，发现不相同，直接丢弃该报文。

Step12: ARP 应答报文经过交换机 D1 到达路由器 D，D 在自身的 ARP 表中填写相应的 ARP 表项。

Step13: C1min 第三次发送 ICMP 报文，此时相应的路径已经建立，ICMP 报文依次经过 C1，C，D，D1 到达 D1min；D1min 回发 ICMP 报文，依次经过 D1，D，C，C1 到达 C1min，一次 ping 通。

Step14: 由于 ping 的次数默认为 4 次，后续一个报文也成功到达，结果如图 41 所示，即第一次和第二次超时丢弃，后两次 ping 通。

与同一路由器、不同交换机下的传输过程类似，本小节传输过程最终的交换机 MAC 表以及 PC 和路由器的 ARP 表不再赘述。

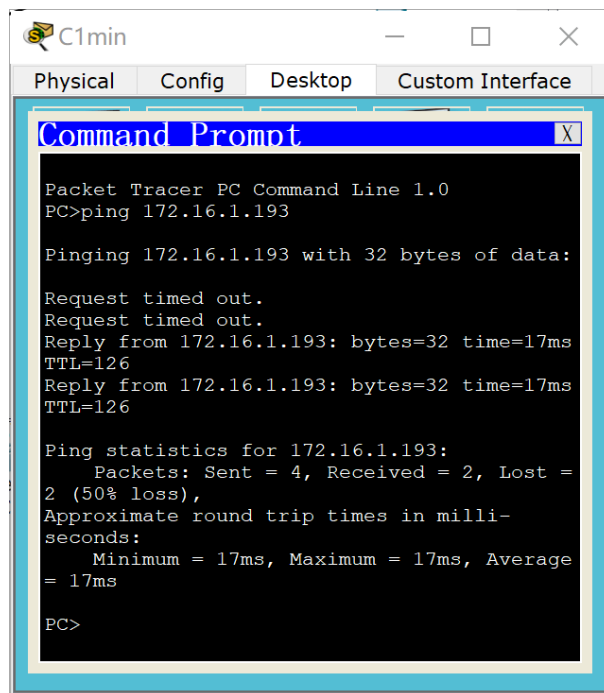


图 48: C1min ping D1min 结果

## 四、收获与总结

在做项目三个阶段的过程中，我们小组成员都觉得收获颇丰。

**阶段一收获** 在刚开始做阶段一时，我们还未学习 IP 地址相关的知识，更是对如何编址一窍不通。不过，我们小组内分头找资料，在小组讨论时提出各自独到的见解，倒也是像模像样地给出了好几个 IP 地址规划的方案。其中前四个方案经过改进后在阶段二都能够配通，展现了我们方案的科学性和有效性。在这一过程中，相关的规划充分锻炼了我们的自学能力，提升了我们小组的协作力。

**阶段二收获** 阶段二我们着眼于题目的需求，进一步优化阶段一的相关方案，学习交换机、路由器相关的性质及功能，学习 Packet Tracer 软件的使用，学习路由表的构造及配置……当然，在当时阶段一知识体系还十分薄弱的情况下，我们做出的方案四当时能够配通，实在是给了我们很大的惊喜，也给了我们莫大的信心来攻克项目二。虽然现在看来，当时的 IP 规划尚存在一些缺陷，但也充分证明了我们相关知识的掌握更加有深度和透彻。在配置静态路由和动态路由时，少不了一番艰辛，但所谓实践出真知，在配置的过程中我们对网络路由的理解更加清晰。

**阶段三收获** 阶段三更像是一趟理论的修正与验证过程。在做阶段三时，我们头脑中已经有了一些相关的理论知识储备，而在模拟 ping 命令的时候，一步步简单易懂的动画演示得我们对报文的传输过程有了一种具象化的概念，从而深化我们对相关知识点的记忆及理解。同时，对于报文传输过程中各 MAC 表和 ARP 表等的查看，也使得之前理解有些偏颇的地方得到了及时的修正。

**总结** 在本项目中，我们使得 IP 规划时所用的 IP 地址尽量少，所配置的静态路由或者是动态路由都能使得全网配通。在配置路由时，也充分对子网聚合进行了考虑及实现。同时，我们紧扣题目的需求，选择合适的设备及其线路，构造出较为完善的拓扑，并从多种角度对报文的传输过程进行观测和关键步骤的阐述。此外，我们还进行了一些拓展——对服务器子网进行了单独的配通测试，并对 IP 地址规划方案提出了自己的新的见解，如对于方案五，虽然其在 Packet Tracer 软件中不能实现配通，但仍具有一定的理论可行性。

## 五、小组分工

### 5.1 阶段一

黄鑫杰：参与小组讨论，提出方案一、三、四，撰写方案一、三、四相关部分的报告。

马文亮：参与小组讨论，提出方案一、二、五，撰写方案一、二、五相关部分的报告。

李政廉：参与小组讨论，收集 IP 地址规划相关的资料，提出方案一，撰写问题分析、基本原理相关部分的报告。

### 5.2 阶段二

黄鑫杰：IP 地址规划方案优化，动态路由配置，撰写报告。

马文亮：主机及端口的 IP 地址配置，静态路由配置，撰写报告。

李政廉：网络拓扑图的构建，动态路由配置，撰写报告。

### 5.3 阶段三

黄鑫杰：同一子网（交换机）下传输过程的运行及报告撰写。

马文亮：同一路由器、不同交换机下传输过程的运行及报告撰写。

李政廉：不同路由器下传输过程的运行及报告撰写。