

班级：2022211301

姓名：卢安来

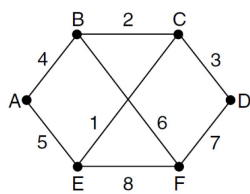
学号：2022212720

1. Are there any circumstances when connection-oriented service will (or at least should) deliver packets out of order? Explain.

解答：

Packet 失序提交是有可能发生的。例如某些协议会根据报文中对 QoS 的相关要求，按照不同的优先级和策略以某种特定顺序提交报文。这样就会导致报文提交的顺序与发送的顺序不同。

5. Consider the network of Fig. 5-12(a). Distance vector routing is used, and the following vectors have just come in to router C: from B: (5, 0, 8, 12, 6, 2); from D: (16, 12, 6, 0, 9, 10); and from E: (7, 6, 3, 9, 0, 4). The cost of the links from C to B, D, and E, are 6, 3, and 5, respectively. What is C's new routing table? Give both the outgoing line to use and the cost.



(a)

Link		State		Packets	
A	B	C	D	E	F
Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.
Age	Age	Age	Age	Age	Age
B 4	A 4	B 2	C 3	A 5	B 6
E 5	C 2	D 3	F 7	C 1	D 7
	F 6	E 1		F 8	E 8

(b)

Figure 5-12. (a) A network. (b) The link state packets for this network.

解答：

C 的路由表可计算如下：

$$R_{C \rightarrow H} = \operatorname{argmin}_N \{ \operatorname{cost}(C \rightarrow N) + \operatorname{cost}(N \rightarrow H) \}.$$

因此

$$\begin{aligned} R_{C \rightarrow A} &= \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{ \operatorname{cost}(C \rightarrow N) + \operatorname{cost}(N \rightarrow H) \} \\ &= \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{ 6 + 5, 3 + 16, 5 + 7 \} = B. \end{aligned}$$

$$R_{C \rightarrow B} = \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{\operatorname{cost}(C \rightarrow N) + \operatorname{cost}(N \rightarrow H)\}$$

$$= \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{6 + 0, 3 + 12, 5 + 6\} = B.$$

$R_{C \rightarrow C}$ 无意义

$$R_{C \rightarrow D} = \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{\operatorname{cost}(C \rightarrow N) + \operatorname{cost}(N \rightarrow H)\}$$

$$= \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{6 + 12, 3 + 0, 5 + 9\} = D.$$

$$R_{C \rightarrow E} = \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{\operatorname{cost}(C \rightarrow N) + \operatorname{cost}(N \rightarrow H)\}$$

$$= \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{6 + 6, 3 + 9, 5 + 0\} = E.$$

$$R_{C \rightarrow F} = \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{\operatorname{cost}(C \rightarrow N) + \operatorname{cost}(N \rightarrow H)\}$$

$$= \operatorname{argmin}_{N \in \{B, D, E\}} \{6 + 2, 3 + 10, 5 + 4\} = B.$$

故 C 的路由表如下。

目的地	代价	下一跳
A	11	B
B	6	B
C	0	-
D	3	D
E	5	E
F	8	B

7. For hierarchical routing with 4800 routers, what region and cluster sizes should be chosen to minimize the size of the routing table for a three-layer hierarchy? A good starting place is the hypothesis that a solution with k clusters of k regions of k routers is close to optimal, which means that k is about the cube root of 4800 (around 16). Use trial and error to check out combinations where all three parameters are in the general vicinity of 16.

解答：

设共分为 c 个 cluster，每个 cluster 有 r 个 region，每个 region 有 t 个 router，则 $c \cdot r \cdot t = 4800$ ，每个路由器共有

$$(c - 1) + (r - 1) + t$$

个表项。

所求即为

$$\min\{c + r + t\} - 2,$$

$$\text{s.t.} \quad c \cdot r \cdot t = 4800, \quad c, r, t \in \mathbb{N}$$

编写程序求解可得

$$\{c, r, t\} = \{15, 16, 20\}.$$

即可行的方案有：

分为 15 个 cluster，每个 cluster 共 16 个 region，每个 region 共 20 个 router。

分为 15 个 cluster，每个 cluster 共 20 个 region，每个 region 共 16 个 router。

分为 16 个 cluster，每个 cluster 共 15 个 region，每个 region 共 20 个 router。

分为 16 个 cluster，每个 cluster 共 20 个 region，每个 region 共 15 个 router。

分为 20 个 cluster，每个 cluster 共 15 个 region，每个 region 共 16 个 router。

分为 20 个 cluster，每个 cluster 共 16 个 region，每个 region 共 15 个 router。

14. A datagram network allows routers to drop packets whenever they need to. The probability of a router discarding a packet is p . Consider the case of a source host connected to the source router, which is connected to the destination router, and then to the destination host. If either of the routers discards a packet, the source host eventually times out and tries again. If both host-router and router-router lines are counted as hops, what is the mean number of

(a) hops a packet makes per transmission?

(b) transmissions a packet makes?

(c) hops required per received packet?

解答：

(a) 对于一个 packet 而言，其最多经过三跳到达目的主机。

跳数 X 分布律如下：

x	1	2	3
$P\{X = x\}$	p	$p(1 - p)$	$(1 - p)^2$

从而一个 packet 传输的平均跳数

$$E[X] = 1 \cdot p + 2 \cdot p(1 - p) + 3 \cdot (1 - p)^2 = p^2 - 3p + 3.$$

(b) 一个 packet 发送成功的概率为 $(1 - p)^2$ ，从而单个 packet 的传输次数 Y 服从几何分布 $\text{Ge}((1 - p)^2)$ ，从而平均传输次数

$$E[Y] = \frac{1}{(1-p)^2}.$$

(c) 每成功接收一个 packet 产生的跳数的平均值为

$$E = E[X]E[Y] = \frac{p^2 - 3p + 3}{(1-p)^2}.$$

15. Describe two major differences between the ECN method and the RED method of congestion avoidance.

解答：

一、二者工作机制不同：

ECN 是设备检测到即将发生拥塞时，它会标记 IP 数据包头部的 ECN 字段，而不是直接丢弃数据包。当数据包到达目的地后，接收方会通知发送方网络可能存在拥塞，发送方据此减少数据传输速率。

RED 是当队列长度超过某个阈值时，会随机选择数据包进行标记或丢弃，而是通过丢弃来间接地影响发送方的行为，以此来通知发送方网络可能拥塞。

二、二者反馈方式不同：

ECN 通过显式的信号告知发送方网络状态。

RED 则是通过概率性的数据包丢弃来隐式地告知发送方，发送方通常是通过数据包丢失来推断网络拥塞，并据此调整传输速率。

16. Imagine a flow specification that has a maximum packet size of 1000 bytes, a token bucket rate of 10 million bytes/sec, a token bucket size of 1 million bytes, and a maximum transmission rate of 50 million bytes/sec. How long can a burst at maximum speed last?

解答：

设持续时长为 S ，则由式

$$B + RS = MS,$$

有

$$S = \frac{B}{M - R}.$$

代入 $B = 1 \text{ MB}$, $M = 50 \text{ MB} \cdot \text{s}^{-1}$, $R = 10 \text{ MB} \cdot \text{s}^{-1}$, 得以最大速率传输的突发数据将会持续

$$S = 25 \text{ ms}.$$

23. Suppose that instead of using 16 bits for the network part of a class B address originally, 20 bits had been used. How many class B networks would there have been?

解答：

如果将 B 类地址的网络号从 16 位增加到 20 位，则 B 类地址的格式如下：

10XX XXXX XXXX XXXX XXXX YYYYY YYYYY

其中 X 为任意值，表示网络号的一部分，Y 表示主机号。可知 B 类网络的个数为

$$2^{\text{cnt}(X)} = 2^{18} = 262144.$$

24. Convert the IP address whose hexadecimal representation is C22F1582 to dotted decimal notation.

解答：

根据给定的十六进制表示法，可知地址共 32 位，为 IPv4，从而可转化如下。

十六进制	十进制
C2	194

2F	47
15	21
82	130

故该 IP 地址的点分十进制表示法为 194.47.21.130。

25. A network on the Internet has a subnet mask of 255.255.240.0. What is the maximum number of hosts it can handle?

解答：

子网掩码 255.255.240.0 对应的二进制为

1111 1111 1111 1111 1111 0000 0000 0000

故可知子网可用地址的位数为 12 位，网络地址（12 位全 0）和广播地址（12 位全 1）不能用于主机，从而子网中的主机数量最大为

$$2^{12} - 2 = 4094.$$

27. A large number of consecutive IP addresses are available starting at 160.16.0.0. Suppose that four organizations, A, B, C, and D, request 4000, 2000, 4000, and 8000 addresses, respectively, and in that order. For each of these, give the first IP address assigned, the last IP address assigned, and the mask in the w.x.y.z/s notation.

解答：

考虑主机号位数 b 和主机数量 n 满足

$$2^b - 2 \geq n,$$

计算有

组织名称	主机数量	主机号位数
A	4000	12
B	2000	11
C	4000	12
D	8000	13

又 160.16.0.0 的二进制表示为

1010 0000 0001 0000 0000 0000 0000 0000

从而可知组织 A 分配地址的二进制为

1010 0000 0001 0000 0000 XXXX XXXX XXXX

从而可知组织 B 分配地址的二进制为

1010 0000 0001 0000 0001 0XXX XXXX XXXX

从而可知组织 C 分配地址的二进制为

1010 0000 0001 0000 0010 XXXX XXXX XXXX

从而可知组织 D 分配地址的二进制为

1010 0000 0001 0000 010X XXXX XXXX XXXX

分配结果汇总如下表。

名称	第一个地址	最后一个地址	子网掩码
A	160.16.0.0	160.16.15.255	255.255.240.0/20
B	160.16.16.0	160.16.23.255	255.255.248.0/21
C	160.16.32.0	160.16.47.255	255.255.240.0/20
D	160.16.64.0	160.16.95.255	255.255.224.0/19

28. A router has just received the following new IP addresses: 57.6.96.0/21, 57.6.104.0/21, 57.6.112.0/21, and 57.6.120.0/21. If all of them use the same outgoing line, can they be aggregated? If so, to what? If not, why not?

解答：

给定地址的二进制表示如下，红色表示网络号部分，绿色表示主机号部分。

0011 1001 0000 0110 0110 0000 0000 0000
 0011 1001 0000 0110 0110 1000 0000 0000
 0011 1001 0000 0110 0111 0000 0000 0000
 0011 1001 0000 0110 0111 1000 0000 0000

由于其转发路由相同，且框选的 2 位部分取遍了 00, 01, 10, 11 这四种所有可能的取值，故可以进行聚合。聚合后对应的地址为

0011 1001 0000 0110 0110 0000 0000 0000

即 57.6.96.0/19。

20. Suppose that host A is connected to a router R_1 , R_1 is connected to another router R_2 , and R_2 is connected to host B . Suppose that a TCP message that contains 900 bytes of data and 20 bytes of TCP header is passed to the IP code at host A for delivery to B . Show the Total length, Identification, DF, MF, and Fragment offset fields of the IP header in each packet transmitted over the three links. Assume that link $A \leftrightarrow R_1$ can support a maximum frame size of 1024 bytes including a 14-byte frame header, link $R_1 \leftrightarrow R_2$ can support a maximum frame size of 512 bytes, including an 8-byte frame header, and link $R_2 \leftrightarrow B$ can support a maximum frame size of 512 bytes including a 12-byte frame header.

解答：

由题可知，三条链路的 MTU 如下。

链路	MTU
$A \leftrightarrow R_1$	1010 B
$R_1 \leftrightarrow R_2$	504 B
$R_2 \leftrightarrow B$	500 B

故可根据 IPv4 报文格式

Version	Header length	Type of service	Total length			
Identifier			0	DF	MF	Fragmented offset
Time to live		Protocol	Header checksum			
Source address						
Destination address						
Options						Padding
Payload						

绘制三条链路上的 IP packet 如下。

链路 $A \leftrightarrow R_1$ 上共一个 packet，如下。

0x4	0x5	0x??	920			
Id			0	0	0	0
0x??	TCP		0x????			
0x????????						
0x????????						
Payload (920 Byte)						

链路 $R_1 \leftrightarrow R_2$ 上共两个 packet，如下。

0x4	0x5	0x??	500			
Id			0	0	1	0
0x??	TCP		0x?????			
0x????????						
0x????????						
Payload (480 Byte)						

0x4	0x5	0x??	460			
Id			0	0	0	60
0x??	TCP		0x?????			
0x????????						
0x????????						
Payload (440 Byte)						

链路 $R_2 \leftrightarrow B$ 上共两个 packet，如下。

0x4	0x5	0x??	500			
Id			0	0	1	0
0x??	TCP		0x????			
0x????????						
0x????????						
Payload (480 Byte)						

0x4	0x5	0x??	460			
Id			0	0	0	60
0x??	TCP		0x????			
0x????????						
0x????????						
Payload (440 Byte)						

21. A router is blasting out IP packets whose total length (data plus header) is 1024 bytes. Assuming that packets live for 10 sec, what is the maximum line speed the router can operate at without danger of cycling through the IP datagram ID number space?

解答：

IP packet 的传输时间 $t_{\text{trans}} = \frac{n}{b}$ ，为了避免 ID 循环，需要满足

$$2^{|ID|} \times t_{\text{trans}} \geq t_{\text{live}},$$

从而

$$b \leq \frac{2^{|ID|} \cdot n}{t_{\text{live}}}$$

其中 $|ID|$ 表示 ID 字段的位数， $2^{|ID|}$ 即为 ID 的取值， t_{live} 为一个 packet 的生存时间。代入 $|ID| = 16$ ， $t_{\text{live}} = 10 \text{ s}$ ， $n = 1024 \text{ B}$ ，得

$$b \leq 53.6870912 \text{ Mbps.}$$

29. The set of IP addresses from 29.18.0.0 to 19.18.127.255 has been aggregated to 29.18.0.0/17. However, there is a gap of 1024 unassigned addresses from 29.18.60.0 to 29.18.63.255 that are now suddenly assigned to a host using a different outgoing line. Is it now necessary to split up the aggregate address into its constituent blocks, add the new block to the table, and then see if any reaggregation is possible? If not, what can be done instead?

解答：

由于路由器查找路由表时多个匹配项会采纳最长地址，故无需分块重新聚合，只需要向路由表中添加表项 29.18.60.0/22，<路由>即可。若收到的 packet 同时匹配 29.18.0.0/17 和 29.18.60.0/22，则其将被转发到 29.18.60.0/22 对应的路由。

30. A router has the following (CIDR) entries in its routing table:

Address/mask	Next hop
135.46.56.0/22	Interface 0
135.46.60.0/22	Interface 1
192.53.40.0/23	Router 1
default	Router 2

For each of the following IP addresses, what does the router do if a packet with that address arrives?

- (a) 135.46.63.10
- (b) 135.46.57.14
- (c) 135.46.52.2
- (d) 192.53.40.7
- (e) 192.53.56.7

解答：

为方便运算，按照路由算法的匹配逻辑将路由表项整理如下。

地址/掩码	子网掩码	下一跳
192.53.40.0/23	255.255.224.0	Router 1
135.46.56.0/22	255.255.192.0	Interface 0
135.46.60.0/22	255.255.192.0	Interface 1
0.0.0.0/0	0.0.0.0	Router 2

- (a) 135.46.63.10 计算如下。

地址/掩码	子网掩码	与运算结果	匹配
192.53.40.0/23	255.255.254.0	135.46.62.0	不匹配
135.46.56.0/22	255.255.252.0	135.46.60.0	不匹配
135.46.60.0/22	255.255.252.0	135.46.60.0	匹配
0.0.0.0/0	0.0.0.0	0.0.0.0	匹配

故可知其将转发给 135.46.60.0/22 对应的 Interface 1。

- (b) 135.46.57.14 计算如下。

地址/掩码	子网掩码	与运算结果	匹配
192.53.40.0/23	255.255.254.0	135.46.26.0	不匹配
135.46.56.0/22	255.255.252.0	135.46.56.0	匹配
135.46.60.0/22	255.255.252.0	135.46.56.0	不匹配
0.0.0.0/0	0.0.0.0	0.0.0.0	匹配

故可知其将转发给 135.46.56.0/22 对应的 Interface 0。

(c) 135.46.52.2 计算如下。

地址/掩码	子网掩码	与运算结果	匹配
192.53.40.0/23	255.255.254.0	135.46.52.0	不匹配
135.46.56.0/22	255.255.252.0	135.46.52.0	不匹配
135.46.60.0/22	255.255.252.0	135.46.52.0	不匹配
0.0.0.0/0	0.0.0.0	0.0.0.0	匹配

故可知其将转发给 0.0.0.0/0 对应的 Router 2。

(d) 192.53.40.7 计算如下。

地址/掩码	子网掩码	与运算结果	匹配
192.53.40.0/23	255.255.254.0	192.53.40.0	匹配
135.46.56.0/22	255.255.252.0	192.53.40.0	不匹配
135.46.60.0/22	255.255.252.0	192.53.40.0	不匹配
0.0.0.0/0	0.0.0.0	0.0.0.0	匹配

故可知其将转发给 192.53.40.0/23 对应的 Router 1。

(e) 192.53.56.7 计算如下。

地址/掩码	子网掩码	与运算结果	匹配
192.53.40.0/23	255.255.254.0	192.53.56.0	不匹配
135.46.56.0/22	255.255.252.0	192.53.56.0	不匹配
135.46.60.0/22	255.255.252.0	192.53.56.0	不匹配
0.0.0.0/0	0.0.0.0	0.0.0.0	匹配

故可知其将转发给 0.0.0.0/0 对应的 Router 2。

31. Many companies have a policy of having two (or more) routers connecting the company to the Internet to provide some redundancy in case one of them goes down. Is this policy still possible with NAT? Explain your answer.

解答：

在这种情形下依然可以使用 NAT，此时 IP packet 将在发送给路由器进行转换后再发送给相应的主机。

为了保证题中所指的冗余性，往往需要在使用 NAT 时采取静态 NAT（转换信息一致且不变）、动态 NAT（当一台路由器不工作时由另一台替代）或者同步 NAT（路由器之间同步 NAT 信息）等策略。

34. Most IP datagram reassembly algorithms have a timer to avoid having a lost fragment tie up reassembly buffers forever. Suppose that a datagram is fragmented into four fragments. The first three fragments arrive, but the last one is delayed. Eventually, the timer goes off and the three fragments in the receiver's memory are discarded. A little later, the last fragment stumbles in. What should be done with it?

解答：

这个 fragment 将被目的主机视作新的 IP 数据包的一部分。它将被缓存，启动新的计时器，等待其他 fragment 到达。但是由于之前其他的 fragment 已经被丢弃，所以计时器应该会超时，导致该 fragment 被丢弃。

35. In IP, the checksum covers only the header and not the data. Why do you suppose this design was chosen?

解答：

为 header 提供校验和是必要的。如果 header 在传输中发生错误，其影响比 data 字段出错严重得多，将会导致路由出错或者 IP packet 的错误接收。

为 data 提供校验和则没有那么必要，一是数据链路层已经提供了相应的校验机制，二是为 data 计算校验和将会耗费大量的计算资源。

38. The Protocol field used in the IPv4 header is not present in the fixed IPv6 header. Why not?

解答：

因为 IPv6 对 IPv4 中的 Protocol 字段进行了拓展，Protocol 字段被「升级」为了 Next Header 字段。

IPv4 的 header 设计采用的 Protocol 字段仅能指定恰好一个上层协议，而 IPv6 则可以通过 extension header 中的 Next Header 字段，构成类似链表的结构，极大地增强了 IPv6 的表达能力和可拓展性。

同时，IPv6 通过 extension header 和 Next Header 模式，将 IPv4 的 header 中的许多可选项移动到了 extension header 中，简化了基本 header，有效提高了相应处理的效率。

39. When the IPv6 protocol is introduced, does the ARP protocol have to be changed? If so, are the changes conceptual or technical?

解答：

ARP 协议用于 IP 地址到 MAC 地址的转化。

在这种意义下，引入 IPv6 只改变了 IP 地址的长度，因此 ARP 协议在概念上是不变的，在技术上是改变的，即其处理的 IP 地址的

长度由 32 位变为 128 位。

补充题 1. 将 IP 地址空间 100.1.1.0/24 按网络号递增顺序分配给 3 个局域网 LAN1~LAN3，其所需地址数分别为 40、50、90。

解答：

考虑主机号位数 b 和主机数量 n 满足

$$2^b - 2 \geq n,$$

计算有

名称	主机数量	主机号位数
LAN1	40	6
LAN2	50	6
LAN3	90	7

又 100.1.1.0/24 的二进制表示为

0110 0100 0000 0001 0000 0001 0000 0000

从而可知为 LAN1 分配的地址二进制为

0110 0100 0000 0001 0000 0001 00XX XXXX

从而可知为 LAN2 分配的地址二进制为

0110 0100 0000 0001 0000 0001 01XX XXXX

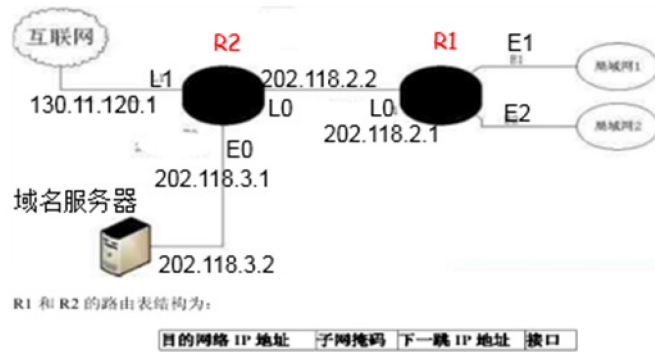
从而可知为 LAN3 分配的地址二进制为

0110 0100 0000 0001 0000 0001 1XXX XXXX

分配结果汇总如下表。

名称	第一个地址	最后一个地址	子网掩码
LAN1	100.1.1.0	100.1.1.63	255.255.255.192/26
LAN2	100.1.1.64	100.1.1.127	255.255.255.192/26
LAN3	100.1.1.128	100.1.1.255	255.255.255.128/25

补充题 2. 某公司网络拓扑图如下图所示，



路由器 R1 通过接口 E1, E2 分别连接局域网 1, 局域网 2, 通过接口 L0 连接路由器 R2, 并通过路由器 R2 连接域名服务器与互联网。

1) 将 IP 地址空间 202.118.1.0/24 划分为两个子网, 分配给局域网 1, 局域网 2, 每个局域网分配的地址数不少于 120 个, 请给出子网划分结果。说明理由或给出必要的计算过程。

2) 请给出 R1 的路由表, 使其明确包括到局域网 1 的路由, 局域网 2 的路由, 域名服务器的主机路由和互联网的路由。请采用路由聚合技术, 给出 R2 到局域网 1 和局域网 2 的路由。

解答：

1) 考虑主机号位数 b 和主机数量 n 满足

$$2^b - 2 \geq n,$$

计算有

名称	主机数量	主机号位数
局域网 1	120	7
局域网 2	120	7

又 202.118.1.0/24 的二进制表示为

1100 1010 0111 0110 0000 0001 0000 0000

从而可知局域网 1 分配地址的二进制为

1100 1010 0111 0110 0000 0001 0XXX XXXX

从而可知局域网 2 分配地址的二进制为

1100 1010 0111 0110 0000 0001 1XXX XXXX

分配结果汇总如下表。

名称	第一个地址	最后一个地址	网络地址
局域	202.118.1.0	202.118.1.127	202.118.1.0/25

网 1			
局域 网 2	202.118.1.128	202.118.1.255	202.118.1.128/25

2) 根据题图，可构建 R1 路由表如下。

目的地址	子网掩码	下一跳地址	接口
202.118.1.0	255.255.255.128	-	E1
202.118.1.128	255.255.255.128	-	E2
202.118.3.2	255.255.255.255	202.118.2.2	L0
0.0.0.0	0.0.0.0	202.118.2.2	L0

根据题图，采取路由聚合技术，可构建 R2 的路由表如下。

目的地址	子网掩码	下一跳地址	接口
202.118.1.0	255.255.255.0	202.118.2.1	L0
202.118.3.2	255.255.255.255	202.118.2.2	E0
0.0.0.0	0.0.0.0	202.118.2.2	L1

故可知 R2 到局域网 1 和局域网 2 的路由为

目的地址	子网掩码	下一跳地址	接口
202.118.1.0	255.255.255.0	202.118.2.1	L0