



第5章 网络层_2_IPv6协议

华南理工大学计算机科学与工程学院
广东省计算机网络重点实验室



主要内容



■ IPv6分组 (5.4.1)

- IPv6分组的基本头部
- IPv6分组和IPv4分组的区别
- IPv6分组的扩展头部

■ IPv6编址 (5.4.2)

■ ICMPv6 (5.4.3)

■ 邻居发现ND (5.4.4)

■ IPv6过渡技术 (5.4.5)





IPv6的由来

- 2011年2月3日，互联网号码分配机构分配完了IP地址总池的最后5个地址块，全球IP地址彻底耗尽
- 首个世界IPv6日——2011年6月8日，以测试为主题，推动IPv6的演进进程。
- IPv6: Internet Protocol Version 6（互联网协议第六版）的英文缩写，是互联网工程任务组（IETF）设计的用于替代IPv4的下一代IP协议（IP Next Generation, IPng），





IPv6所作的主要改进

- IPv6 地址结构天生 4 层，便于层级路由
- IPv6 分组的基本头部非常简洁，只有 8 个字段共 40 个字节
- IPv6 分组删除了 IPv4 分组中的选项，用扩展头部替代，提供了更大的灵活性，可在原生 IPv6 网络上推进 IPv6+
- IP 分组中新增“流标签”字段，用以标识特殊要求的流，以提供有别于缺省服务质量的服务质量
- IPv6 提供了认证和隐私功能，支持身份验证、数据完整性和数据机密性等

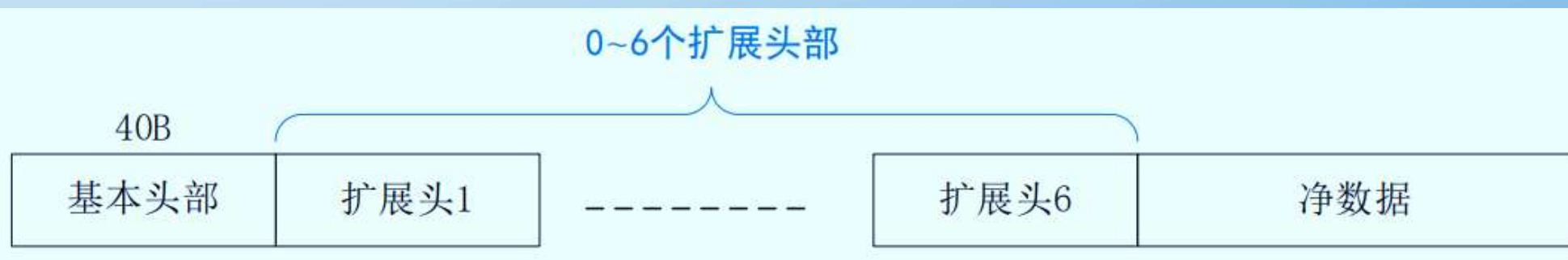




IPv6分组的构成_1

■ IPv6 分组包含3部分

- 基本头部
- 扩展头部（可以没有）
- 净数据





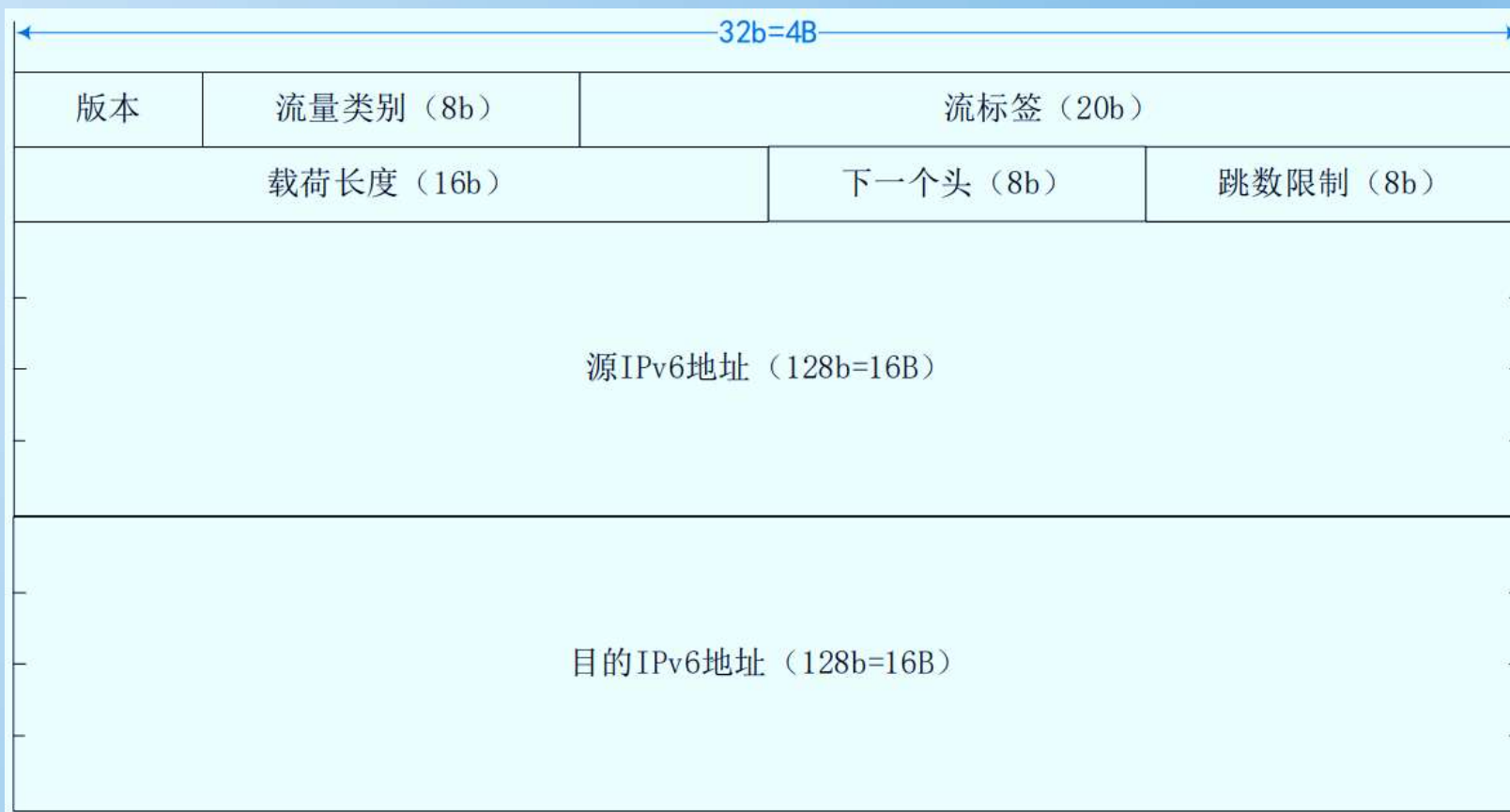
IPv6分组的构成_2

■ **版本**：表示当前分组所属的IP版本，此字段值为

"0110"

■ **流量类型**：用于提供区分服务

■ **流标签**：其值标识了某个流





IPv6分组的构成_3

- **载荷长度**：表示40个字节的基本头部之后的数据的总长度；如果有扩展头，则包含扩展头部的长度在内
- **下一个头**：表示紧跟其后的字段是什么内容，可能是某种扩展头，也可能是上层协议数据。

取值	关键字	扩展头英文名	中文名
0	HOPOPT	IPv6 Hop-by-Hop Option	逐跳选项
43	IPv6-Route	Routing Header for IPv6	路由头
44	IPv6-Frag	Fragment Header for IPv6	分片头
50	ESP	Encap Security Payload	封装安全载荷
51	AH	Authenticaition	认证
60	IPv6-Opts	Destination Options for IPv6	目的选项





IPv6分组的构成_4

- **跳数限制**：表示分组剩下的生命周期值，以路由器的个数即跳数为单位。每过一个路由器，分组头中的跳数限制值被减1，减到0的分组，被路由器丢弃，路由器向源发回ICMP差错报告。跳数限制的名字比TTL生命周期更符合其使用方法。
- **源IPv6地址**：表示这个分组从哪个接口发出。
- **目的IPv6地址**：表示这个分组要去往哪个接口。





相比IPv4，IPv6分组所做的变化

■增加：流标签

■删除

□校验和、分片相关、头部长度

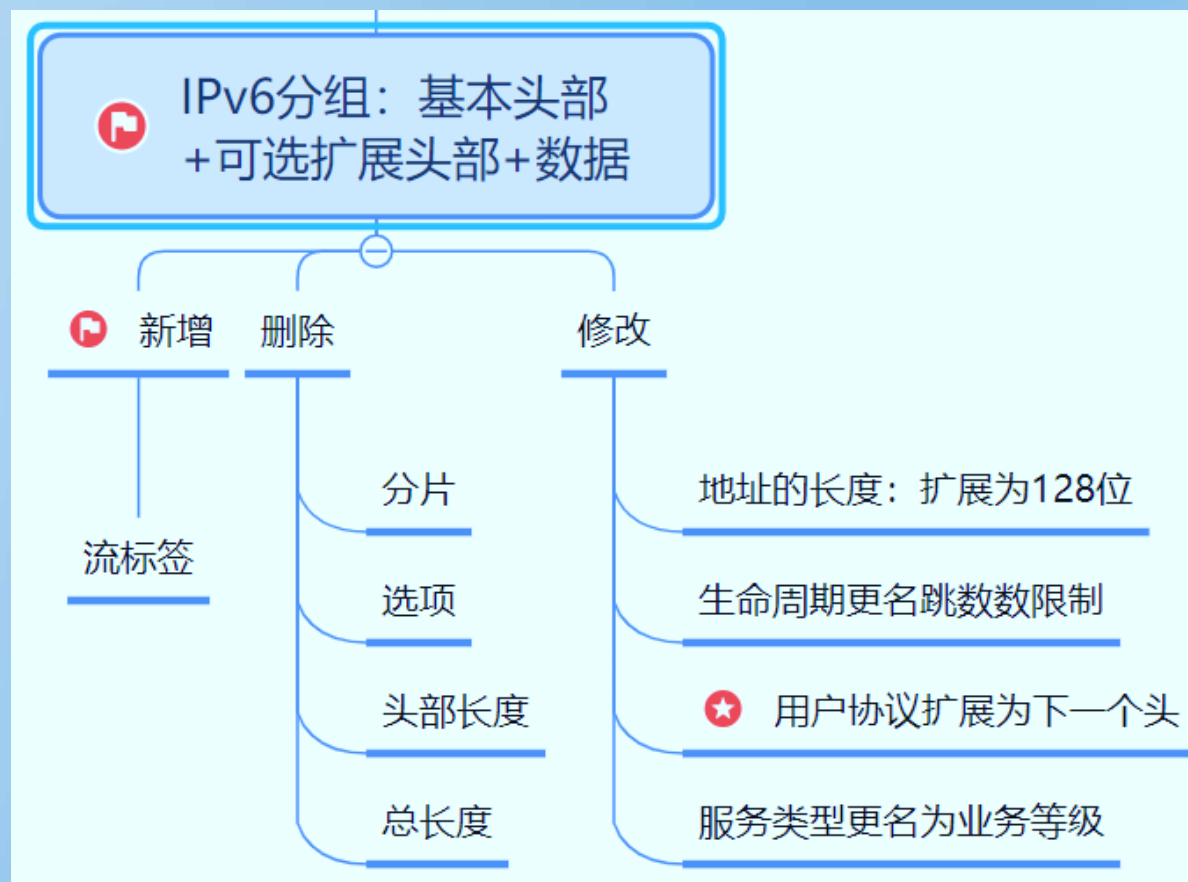
■修改

□TTL→ HL

□用户协议→下一个头

□服务类型→流量等级

□地址长度32位→128位





扩展头及通用

- 逐跳选项必须紧跟在IPv6分组的基本头部之后
 - 如果有多种扩展头，严格按照顺序排列
- 原则上，一个IPv6的节点必须能够接收和处理一、出现任意次数的扩展头的IPv6分组
- IPv6分组可以有0-6种扩展头
- 扩展头中的选项格式：TLV

1B	1B	可变长度
选项类型	选项数据长度	选项数据





扩展头_1_逐跳选项

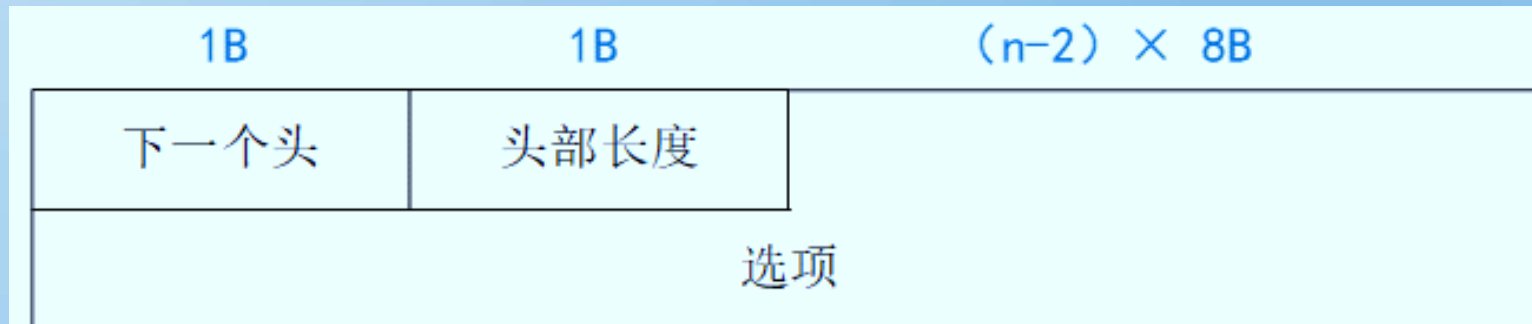
■当固定头部中的NH=0时，紧跟着逐跳选项

■逐跳选项的构成

□**下一个头**：1字节长的值指示了紧跟其后面的数据的类型

□**头部长度**：1字节长的值指示了本逐跳选项扩展头的长度，以8字节为单位

□**选项**：包含一个或多个TLV的选项，其长度是可变的，但是是8字节的整数倍。



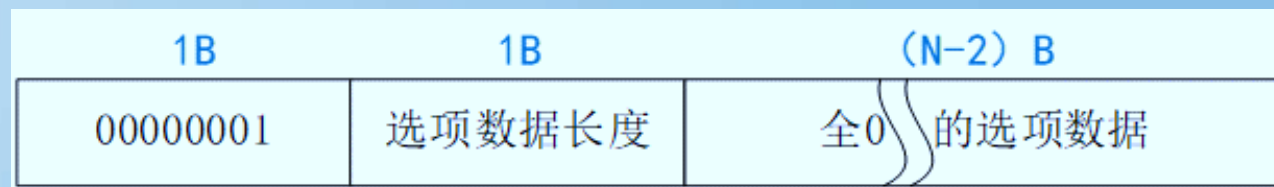


3种逐跳选项

■ 目前只定义了3种选项

□ Pad1: 正好可以提供1字节长的填充, 00000000

□ PadN: 如果需要的字节数N超过1个才能对齐, 不能简单使用N个 Pad1, 而是使用PadN

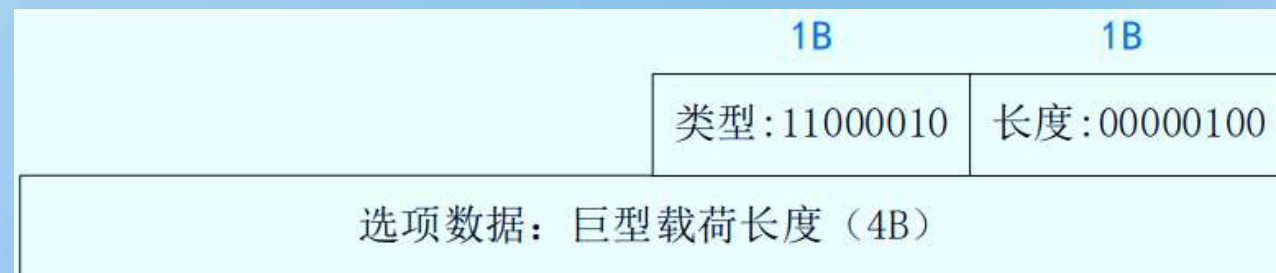


□ 巨型载荷: 超过64kB载荷的分组

■ 选项类型: 11000010, 即194

■ 长度: 00000100, 即 4

■ 选项数据: 约43亿字节





扩展头_2_路由扩展头

■当固定\扩展头部中的NH=43时，紧跟路由扩展头，可实现类似源路由功能

■路由扩展头的构成

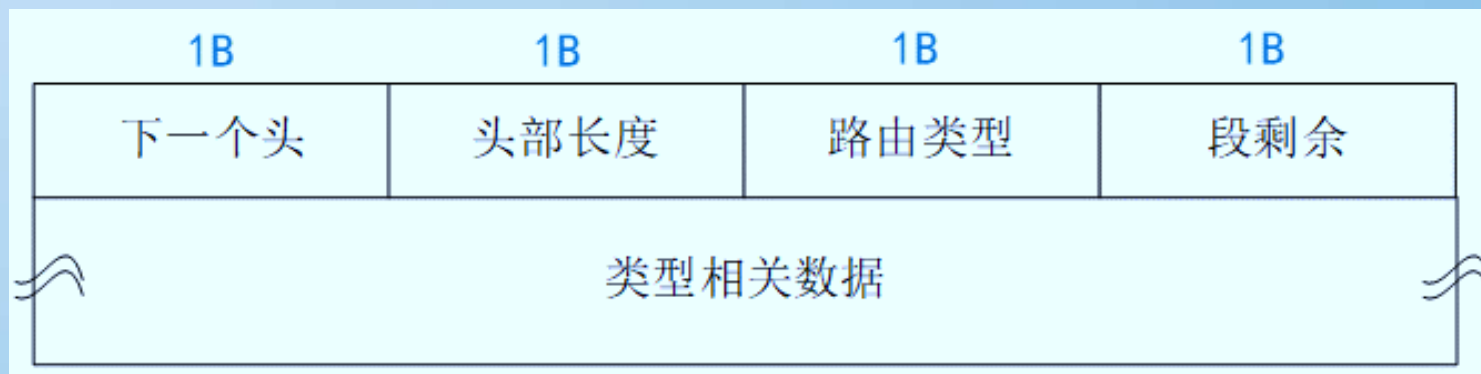
□下一个头：其值指示了紧跟其后的扩展头或上层协议

□头部长度：表示本路由扩展头的长度，8字节单位，不含前8B

□路由类型：代表某种特别的路由头

□段剩余：表示到达目的节点还剩下的路由段数量

□类型相关数据：其数据和格式由路由类型决定，长度可变





扩展头_3_分片扩展头

- 当固定\扩展头部中的NH=44时，紧跟分片扩展
 - 下一个头：表示紧跟其后的头部类型或上层协议
 - 片偏移：字段长13位，表示相对于原始分组的可分片部分开始处的相对位置，以8字节为单位
 - “M”标记位：值为“0”表示最后一个分片
 - 标识：是未分片的原始分组的唯一标记，由源节点维护

8b	8b	13b	2b	1b
下一个头	保留	片偏移	保留	M
标识				





IPv6分片

- 与IPv4分组分片不同的是，IPv6分片只能够在源机（发送方）上进行，中间的路由器都不参与分片
- 每个分片构成一个新的分组，由不可分片部分、分片头和分片本身三部分构成。





扩展头_4_认证扩展头AH

- 当固定\扩展头部中的NH=51时，紧跟认证扩展头
- 认证扩展头和封装载荷安全扩展头是实现IPsec框架的构件
- 认证扩展头的构成
 - 下一个头：表示紧跟其后的扩展头或上层协议数据的类型





认证扩展头的构成_续

- **载荷长度**：表示以4字节为单位的认证头AH的长度再减去2
- **保留**：2B，未被定义，全置为“0”
- **安全参数索引**：接收端使用它来识别收到的分组所绑定的源地址安全关联
- **序列号**：对应一个“增1”的计数器
- **完整性校验值**：长度可变，但须是4B的整数倍，可能包含填充数据，保证IPv6分组的头部长度是8字节的整数倍。用于计算该字段值的ICV算法在SA中





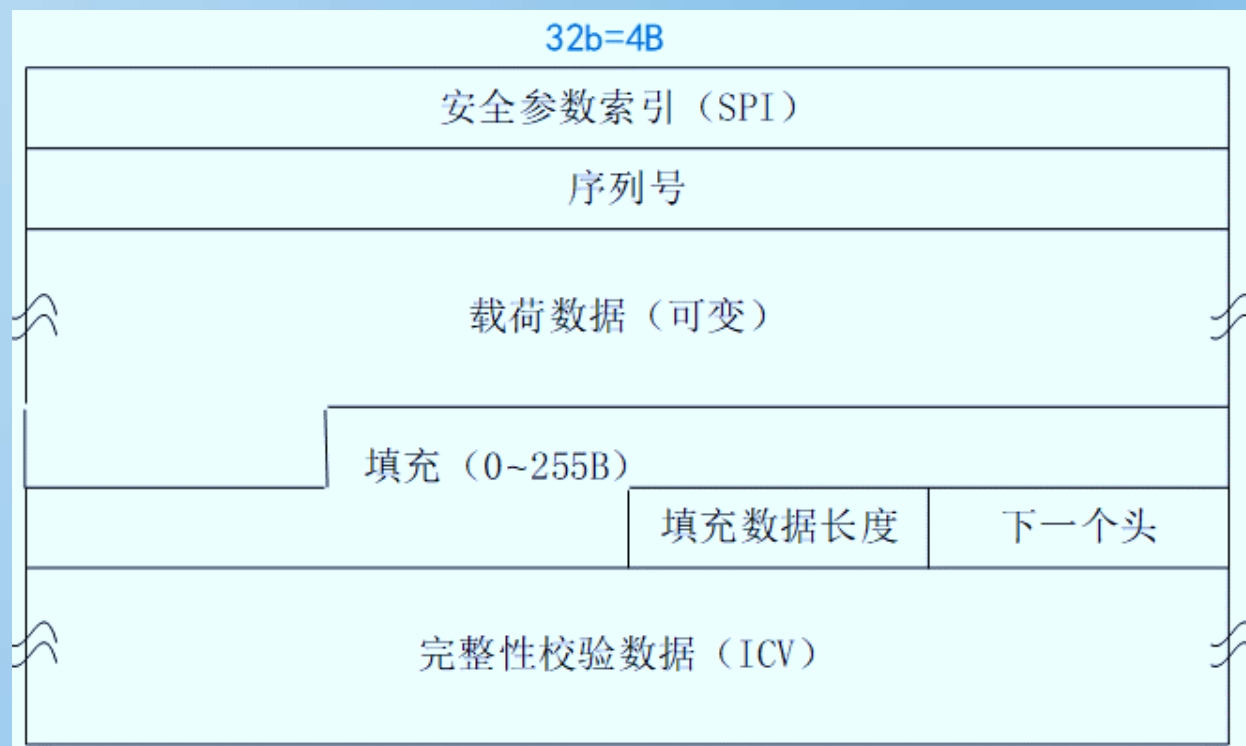
扩展头_5_封装安全载荷扩展头ESP

■当固定\扩展头部中NH=50时，紧跟封装安全载荷扩展头

■实现端到端的加密功能

■封装安全载荷ESP的构成

□安全参数索引：32位值，接收端使用它来识别收到的分组所绑定的源地址安全关联SA





封装安全载荷的构成_续

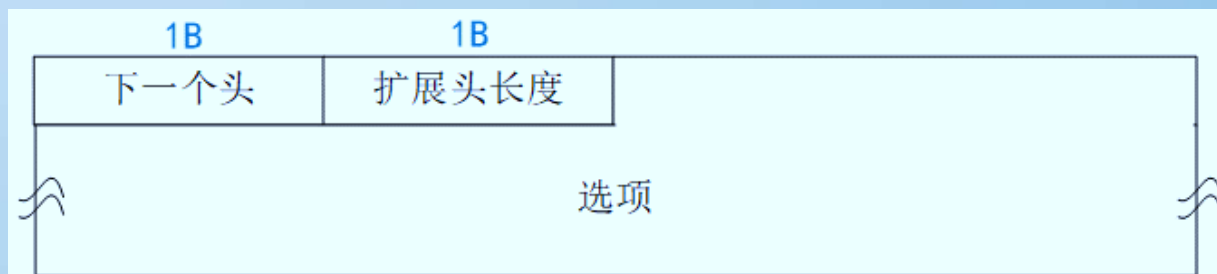
- 序列号**：长32位，对应一个递增的计数器。可抗重放攻击
- 载荷数据**：长度可变，加密后的密文
- 填充**：长度0 ~ 255字节可变。密文须是4B的倍数
- 填充数据长度**：表示以字节为单位的填充数据的长度。
- 下一个头**：表明紧跟其后的扩展头或上层数据类型。
- 完整性校验数据**：长度可变，通过计算ESP头、载荷和ESP尾字段得到。该字段是可选的，只有选择了完整性服务才有这个字段





扩展头_6_目的选项扩展头DO

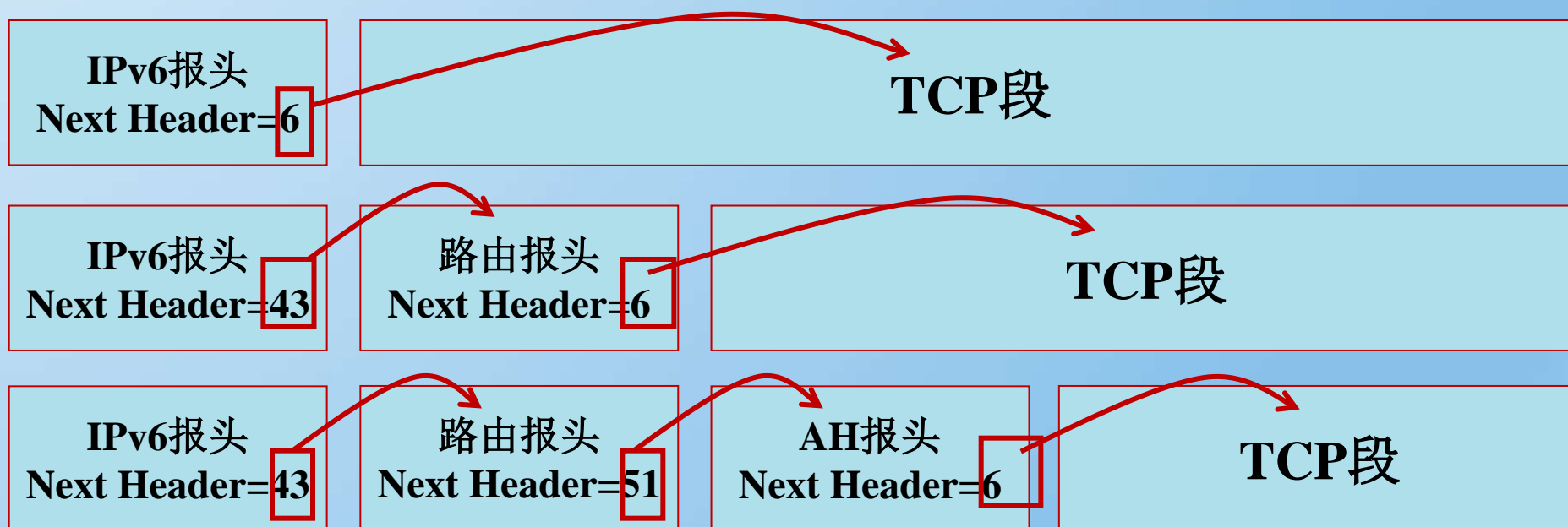
- 当固定\扩展头部中NH=60时，紧跟目的选项扩展头
- 用于携带那些需要最终目的机检查和处理的信息
- 目的选项扩展头的构成
 - 下一个头：表示紧跟该扩展头之后的扩展头或上层协议数据类型。
 - 扩展头长度：表示以8B为单位的目的选项头的长度
 - 选项：8B的整数倍，含一个或多个TLV





基本报头、扩展报头和上层协议的关系

- 每一种扩展报头其实也有自己特定的协议号，例如：路由报头为43，AH报头为51
- 每一个基本报头和扩展报头的protocol字段标识后面紧接的内容





抓取一个真的IPv6分组!

■ IPv6分组

```
Ethernet II, Src: 00:0d:56:6d:6f:fc, Dst: 00:e0:fc:06:7a:d8
Destination: 00:e0:fc:06:7a:d8 (HuaweiTe_06:7a:d8)
Source: 00:0d:56:6d:6f:fc (DellPcba_6d:6f:fc)
Type: IPv6 (0x86dd)
```

```
Internet Protocol Version 6
Version: 6
Traffic class: 0x00
Flowlabel: 0x00000
Payload length: 40
Next header: ICMPv6 (0x3a)
Hop limit: 128
Source address: 1::7146:ab89:3e23:e38c
Destination address: 1::1
```

```
Internet Control Message Protocol v6
Type: 128 (Echo request)
Code: 0
Checksum: 0x9675 (correct)
```

```
ID: 0x0000
```

```
Sequence: 0x0001
```

```
Data (32 bytes)
```

```
00 e0 fc 06 7a d8 00 0d 56 6d 6f fc 86 dd 60 00
00 00 00 28 3a 80 00 01 00 00 00 00 00 00 71 46
ab 89 3e 23 e3 8c 00 01 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 01 80 00 96 75 00 00 00 01 61 62
63 64 65 66 67 68 69 6a 6b 6c 6d 6e 6f 70 71 72
73 74 75 76 77 61 62 63 64 65 66 67 68 69
```


主要内容



- IPv6分组 (5.4.1)
- IPv6编址 (5.4.2)
 - IPv6地址的表示
 - IPv6单播地址
 - IPv6组播地址、任播地址
- ICMPv6 (5.4.3)
- 邻居发现ND (5.4.4)
- IPv6过渡技术 (5.4.5)





IPv6的最显著变化—地址空间

■ IPv4: $2^{32} = 4 \times 10^9$ (约43亿)

■ IPv6地址空间:

□ $2^{128} = 3.4 \times 10^{38} = 340$ 润 (1润 = 10^{36})

□ 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456

■ 连线到离地球最近的银河系仙女恒星 (250万光年), 每纳米
140万个

■ 全球人均每人 5×10^{28} 个

■ 每平方厘米 6.7×10^{19} 个地址

□ 可以说, 世界上每一粒沙子都可以分到一个IP地址

弹幕: 有必要这么多地址吗?





■如何书写一个128位的地址?

[illegible]



IPv6地址表示：冒分十六进制_2

[illegible]

```
0010000000000001 0000010000010000 0000000000000000 0000000000000001
0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0100010111111111
```



2001:0410:0000:0001:0000:0000:0000:45ff



2001:410:0:1:0:0:0:45ff

规则1：省略前导0



规则2：忽略全0

2001:410:0:1::45ff





例5-8

■ 一个冒分十六进制表示的IPv6地址是：

2001:0db8:0:0881:0:0:0:0101，请写出它的简化形式。

■ 解答

□ 省略前导零：0db8、0881和0101三个位组分别变为db8、881和101。

□ 可以忽略全零的有两处，第3个16位组处，第5、6、7个16位组处

□ 压缩后的地址是：2001:db8:0:881::101；因为要充分利用“::”的压缩能力，选择更多“0”的地方进行压缩。





简化IPv6地址的原则（RFC4291→RFC5952）

- （1）有前导零必省略：如果4位16进制位组中有前导零，则必须省略
- （2）最长零省略：使用“::”进行地址简化时，必须发挥它的最大能力
- （3）不省略1个位组零：“::”不可以用来代表仅仅16个二进制位（4位16进制位组）。比如2001:db8:0:1:1:1:1:1是正确的，而2001:db8::1:1:1:1:1是不正确的。
- （4）优先省略第一处：当在一个地址中不止一处可以使用“::”时。有更多4位16进制‘0’位组的那一处被压缩
- （5）小写字母：冒分十六进制表示的地址，如果出现超过9的16进制数，则不能大写，而只能小写，就像这样：a、b、c、d、e或f。





IPv6地址的表示

■ 前缀表示法

- IPv6地址/前缀长度

- 例如：一个接口的IPv6地址是

2001:db8:0:cd30:123:4567:89ab:cdef，其中的网络位有60位，
记为：2001:0db8:0:cd30::/60，那这个接口的IPv6地址可以用
CIDR前缀法记为：2001:db8:0:cd30:123:4567:89ab:cdef/60。

■ 混合表示法：过渡时期的特殊表示

- x:x:x:x:x:d.d.d.d

- 如：0:0:0:0:0:ffff:129.144.52.38，压缩为：::ffff:129.144.52.38





几种IPv6地址的样例

- 未指定地址：表示这个接口、这个网络，没有地址
- 环回地址：并不分配给物理接口，被认为分配给了一个虚拟接口
- 站点本地地址：通信范围限制在本地站点内的地址
- IPv6组播地址：代表一组成员的特殊地址，以ff00::/8开头的地址
- 链路本地地址：是一种特别的单播地址，用于本链路通信

IPv6 地址类型↵	二进制表示的地址(128b)↵	冒分十六进制表示的地址↵
未指定地址↵	00.....0↵	::/128↵
环回地址↵	00.....1↵	::1/128↵
组播地址↵	11111111.....↵	ff00::/8↵
被请求节点组播组地址↵	1111111100000010.....↵	ff02:0:0:0:0:1:ff:://104↵
站点本地地址↵	1111111011000000.....↵	fec0::/48↵
链路本地单播地址↵	1111111010.....↵	fe80::/10↵





IPv6地址的种类

■ IPv6单播地址

- 全球单播地址GUA

- 链路本地地址LLA

■ IPv6组播地址

- 被请求节点组播组地址

■ IPv6任播地址

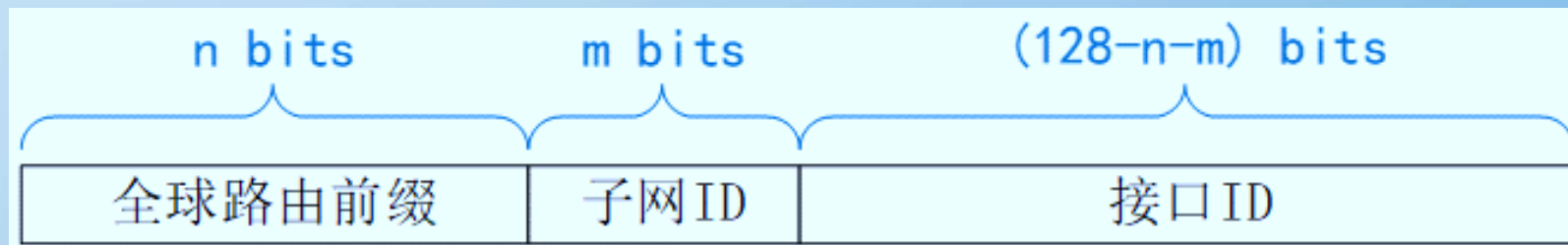




IPv6单播地址

■ 全球单播地址GUA的构成

- 全球路由前缀：一个分配给某站点的表征典型层级结构的值（目前仅“001”开头）
- 子网标识：用来标识站点内的某条链路
- 接口标识：用来标识某链路上的某个接口





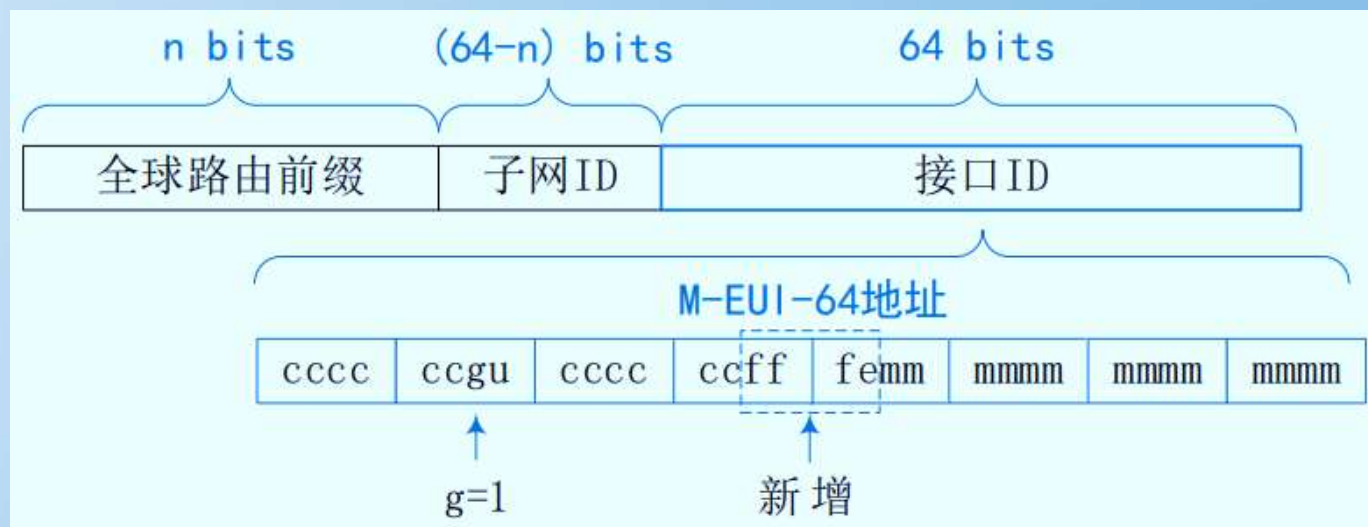
接口标识（接口ID）

■ 64位的接口标识

□ M-EUI-64

□ 随机数

□ 手工配置



■ 以“000”开头的特殊 IPv6地址

80b	16b	32b
000.....00	0000	IPv4地址

(a) IPv4 兼容地址

80b	16b	32b
000.....00	ffff	IPv4地址

(b) IPv4 映射地址





链路本地地址LLA

- 链路本地地址：单播地址，用于某条单一的链路上的通信

10b	54b	64b
1111111010	000.....00	接口 ID

- 以 “fe80::/64” 网络前缀开头

- 接口ID

- M-EUI-64

- 随机数

- 手工配置





IPv6组播地址

- IPv6 地址中，没有广播地址了，原有的通过 IPv4 广播实现的功能需要进行修正或被取代，或改由 IPv6 组播（Multicast）来实现。

8b	4b	4b	112b
11111111	标记	范围	组播组ID

- IPv6 组播地址：用来标识一组接口，这些接口同属于一个组
- 知名组播地址

组播组地址	范围	简要说明
ff01:0:0:0:0:0:0:1	接口本地	表示不同范围的所有节点的 IPv6 地址，标识了不同范围下的所有节点。
ff02:0:0:0:0:0:0:1	链路本地	
ff01:0:0:0:0:0:0:2	接口本地	表示不同范围的所有路由器的 IPv6 地址，标识了不同范围下的路由器组。
ff02:0:0:0:0:0:0:2	链路本地	
ff05:0:0:0:0:0:0:2	站点本地	





一个特殊而重要的IPv6组播地址

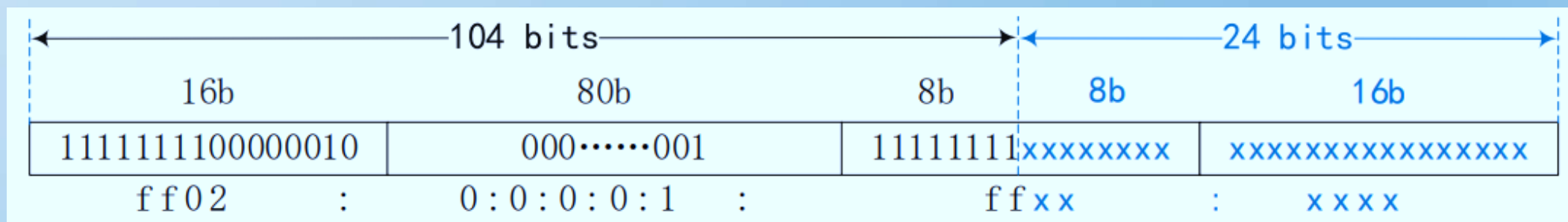
■ 被请求节点组播组

□ IPv6单播地址的后面24位相同的节点是这个组播组的成员

■ 被请求节点组播组地址

□ 前 104 位是固定的前缀 ff02:0:0:0:0:1:ff:://104

□ 后 24 位由单播地址生成





例 5-9

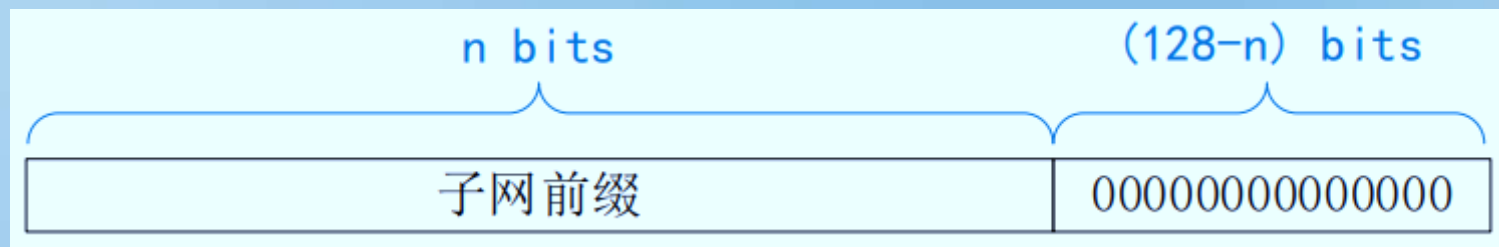
- 一个节点的接口 IPv6 地址是 2001::b171:25c3:fcea:87fc，试求其加入的被请求节点组播组的组地址。
- 解答
 - IPv6 地址 2001::b171:25c3:fcea:87fc 的最后 24 位是 ea:87fc，将其追加到网络前缀 ff02:0:0:0:0:1:ff::/104
 - 形成 128 位的完整组地址：ff02:0:0:0:0:1:ffea:87fc，简化为：ff02::1:ffea:87fc
- 注意：启动时，自动加入被请求节点组播组。





IPv6 任播地址

- IPv6 任播地址：分配给超过 1 个以上的多个接口的一种地址，这些接口通常属于不同的节点
- 目的地址是任播地址的分组只需要发送给拥有该地址的“最近”的那个接口
- IPv6任播地址
 - 子网前缀：标识了一条指定的链路 (link)
 - 其余部分：0
 - 类似于IPv4网络地址





练习

1、对于一个冒分十六进制表示的IPv6地址：FE80:0:0:0:2AA:FF:FE9A:4CA3，下面哪个地址缩写是正确的？

- A、FE8::2AA:FF:FE9A:4CA3
- B、FE80::2AA:FF:FE9A:4CA3
- C、FE80::0:2AA:FF:FE9A:4CA3
- D、FE80:::0:2AA:FF:FE9A:4CA3

解析：“FE8::2AA:FF:FE9A:4CA3”中，第一个16位组的低位“0”被省略，按规则只能省略高位“0”；“FE80::0:2AA:FF:FE9A:4CA3”未简化彻底；
“FE80:::0:2AA:FF:FE9A:4CA3”地址中出现“:::”未知符号”。只有“FE80::2AA:FF:FE9A:4CA3”正确。





练习

2、十六进制数0x3F 对应的十进制数是多少？

- A、 61
- B、 62
- C、 63
- D、 65

解析： $0x3F = 3 * 16 + 1 * 15 = 63$





主要内容

- IPv6分组 (5.4.1)
- IPv6编址 (5.4.2)
- ICMPv6 (5.4.3)
 - ICMPv6消息
 - ICMPv4消息和IPv6消息的比较
- 邻居发现ND (5.4.4)
- IPv6过渡技术 (5.4.5)

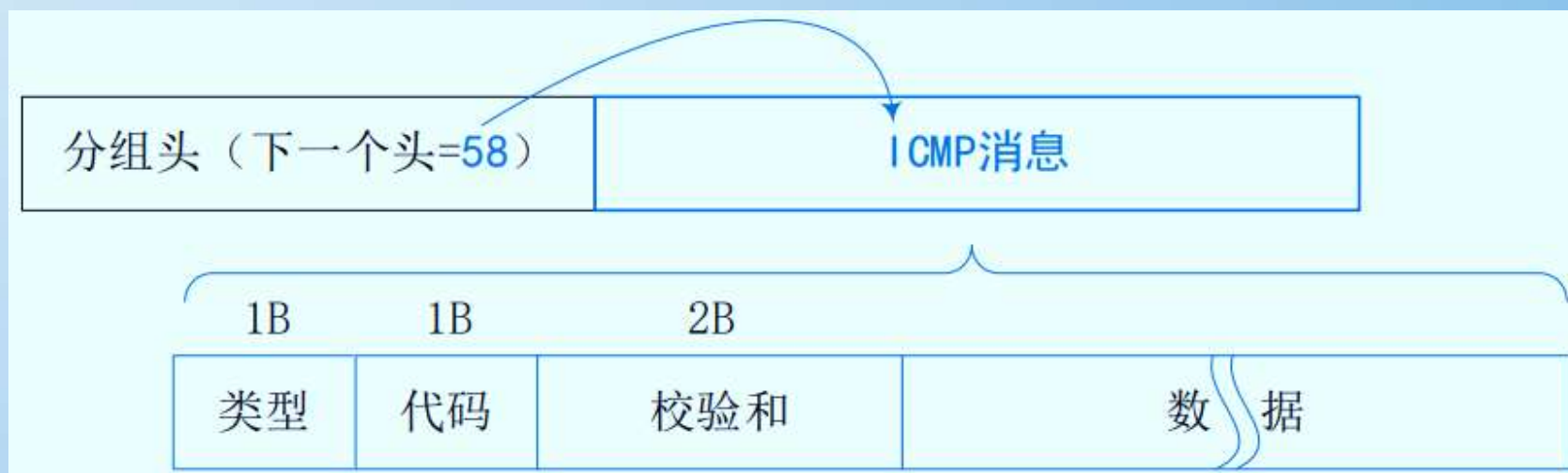




IPv6 的互联网控制消息协议

■ ICMPv6 : IPv6 的互联网控制消息协议, 是 IPv6 的一个组成部分

□ 报告 IPv6 分组的传输问题, 也用来诊断网络层问题





ICMPv6消息类型

■ 差错消息：0~127

■ 信息消息：128~255

	类型值	ICMP 类型值	消息名称	备注
差错消息 (类型值 0~127)	1	3	目的不可达	基本相当
	2	3 (code=4)	分组过大	原类型值为 3、代码值为 4 的 ICMP 消息， 由类型值为 2 的 ICMPv6 消息代替
	3	11	超时	基本相当
	4	12	参数问题	基本相当
信息消息 (类型值 128~255)	128	8	回声请求	基本相当
	129	0	回声应答	基本相当
	133	10	路由器请求	基本相当
	134	9	路由器公告	基本相当
	135		邻居请求	新增的 ICMPv6 类型
	136		邻居公告	新增的 ICMPv6 类型
	137	5	重定向	基本相当





主要内容

- IPv6分组 (5.4.1)
- IPv6编址 (5.4.2)
- ICMPv6 (5.4.3)
- 邻居发现ND (5.4.4)
 - IPv6地址的获取
 - 重复地址检测
 - 地址解析
- IPv6过渡技术 (5.4.5)





邻居发现ND

- 实现了很多重要的功能：自动地址配置、重复地址检测DAD、邻居不可达性检测NUD等。
- 邻居发现协议通常使用 ICMPv6 信息消息（类型值大于 127）来实现

类型	消息名称	备注
133	路由器请求 RS	在路由器和主机之间交互，主要实现地址的自动配置等
134	路由器公告 RA	
135	邻居请求 NS	邻居之间交互，主要实现地址解析、重复地址检测、前缀重新编址等
136	邻居公告 NA	
137	重定向 RD	路由器用以通知主机一个到达目的的更好的默认网关





IPv6地址的获取

■有状态的地址自动配置：动态主机配置协议DHCPv6

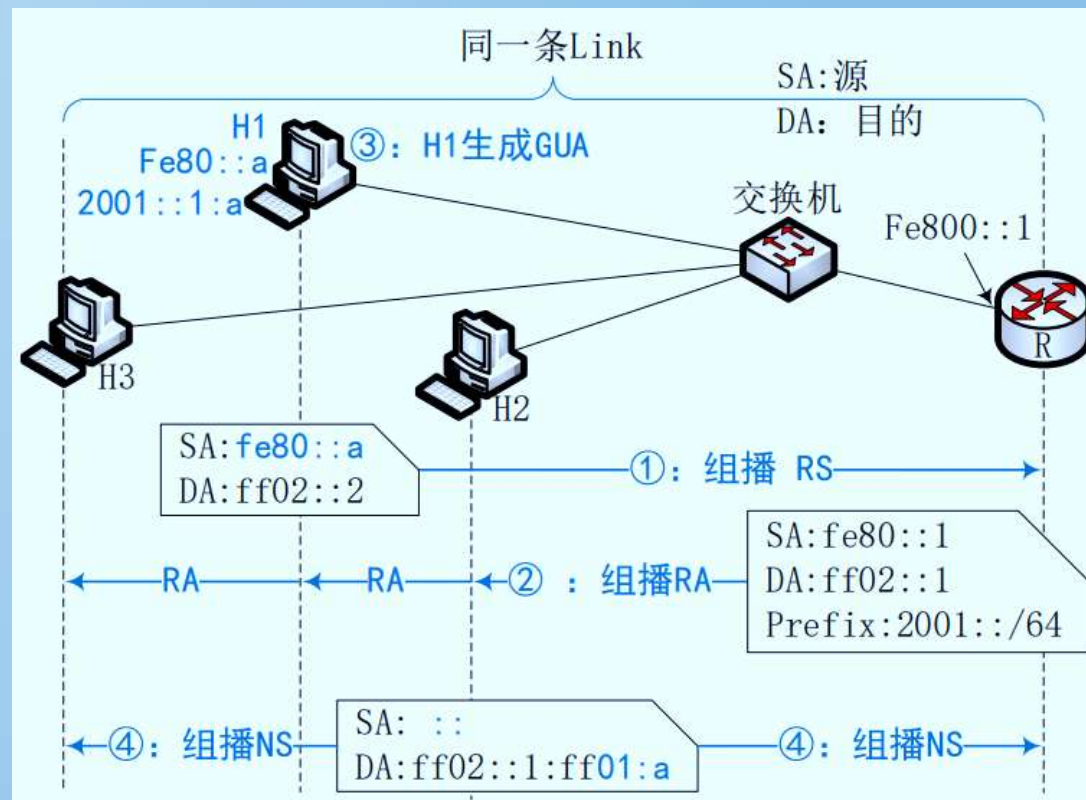
■无状态的地址自动配置SLAAC

□第1步：链路本地地址自动生成

■Fe80::/64+接口 ID

□第2步：GUA的自动获取

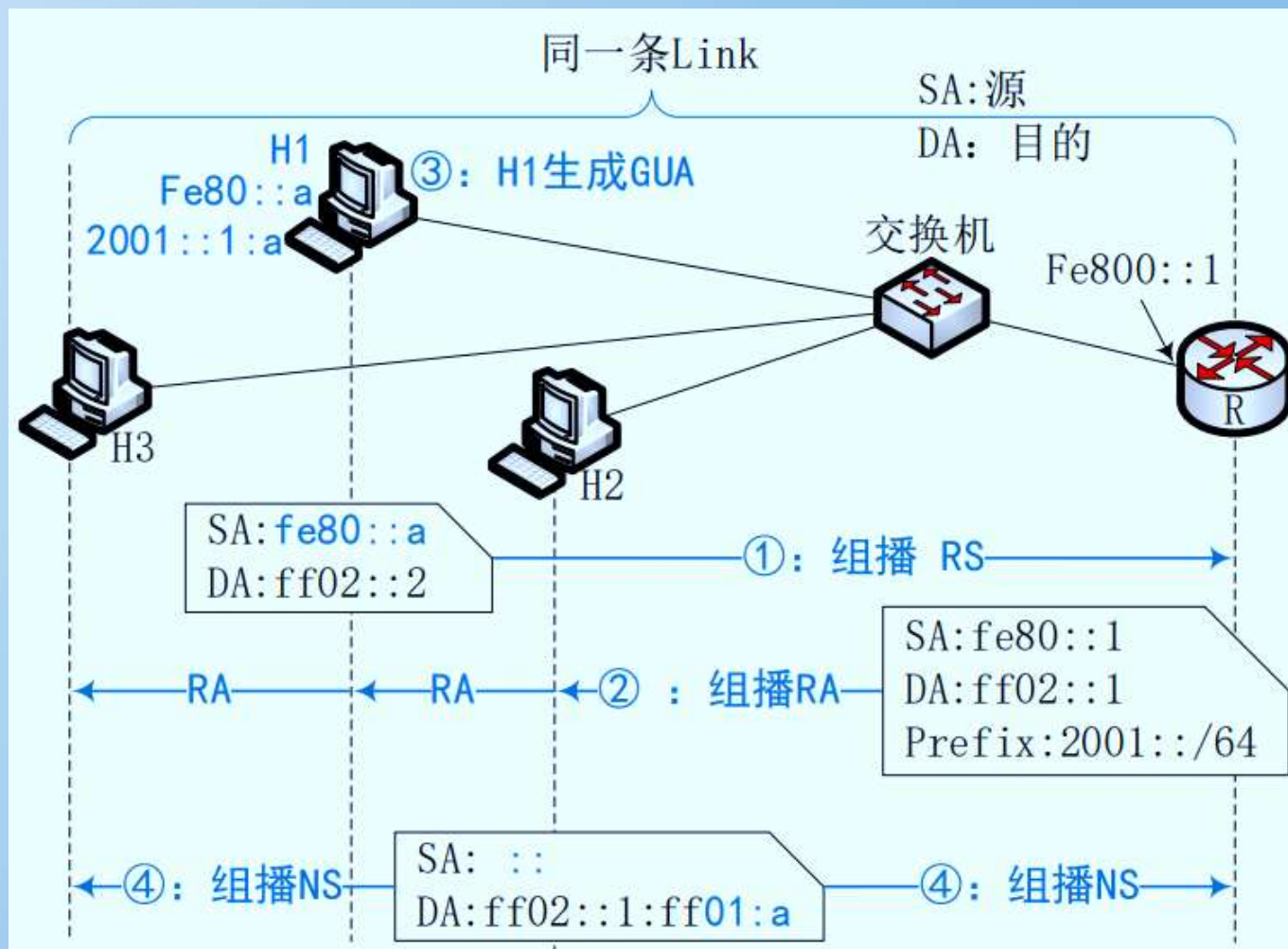
□第3步：重复地址检测





GUA的自动获取过程

- 主机发送RS消息
- 路由器发RA消息
- 主机选择默认网关
- DAD检测，主机发NS





路由器公告RA中的重要字段

-) M 管理地址配置标识位：如果 M=0，表示通过无状态地址自动配置获取 IPv6 地址
- O 其它有状态配置标识位：如果 O=0，表示通过无状态地址自动配置获取出地址外的其它配置信息
- 如果 M=1，则必须 O=1，表示包括地址在内的全部配置信息都来自于DHCPv6，否则无意义

1B	1B	2B
类型=134	代码=0	校验和
当前跳数限制	M O H Pr 保留	路由器的生命周期
可达时间		
重传定时器		
选项		

(a) 路由器公告 RA 消息的格式

1B	1B	1B	5b
类型=3	长度=4	前缀长度	L A R 保留
有效生存期			
优先生存期			
保留			
前缀 (16B)			

(b) RA 中前缀信息选项的格式



路由器公告RA选项中的日期字段

- 有效生存期：长 4 字节，单位是秒，表示由该前缀产生的 on-link 地址处于有效状态的时间，默认值为 30 天（2592000 秒）
- 优先生存期：长 4 字节，单位是秒，表示由该前缀通过 SLAAC 产生的地址处于优先状态的时间，默认值为 7 天（604800 秒）
- 决定了地址的4个状态

- 临时状态
- 优先状态
- 弃用状态
- 无效状态





重复地址检测DAD

■重复地址检测DAD：通过交互邻居请求 NS 和邻居公告 NA 两种消息实现

■DAD过程

□发送NS，源地址 ::，目的地址ff02::1:ff01:a/104

□未收到NA，通过DAD

□如果收到NA，且O标记为1，地址重复



注意：所有的单播地址，不管是 LLA，还是 GUA，不管是无状态自动配置的，还是通过 DHCPv6 获取的，都要进行 DAD





ND地址解析

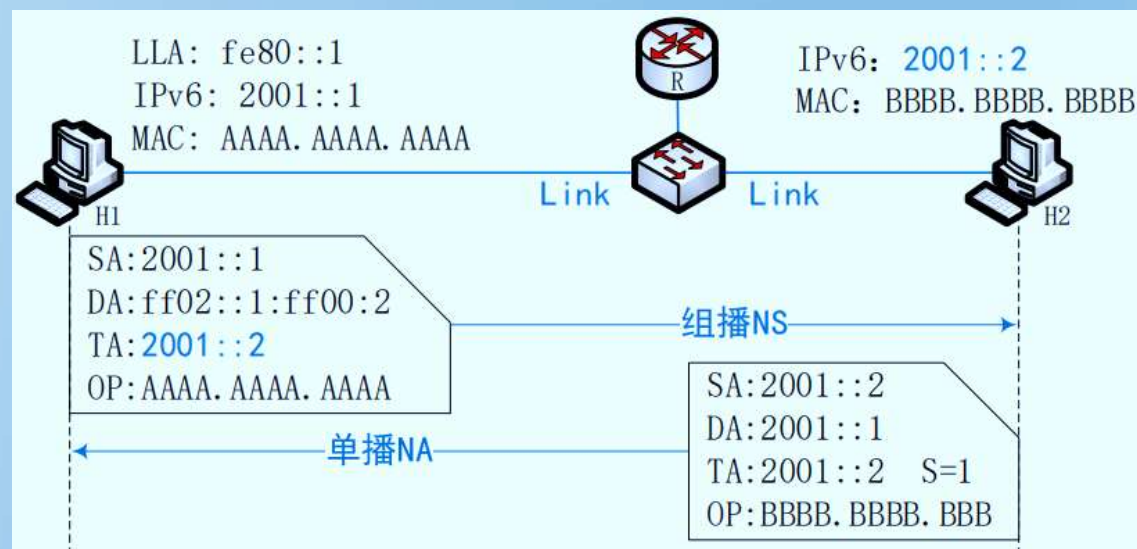
- 类似IPv4网络中的ARP，但位于网络层，具有如下优势
 - 网络层的地址解析，独立于链路层协议，还可以解析其它链路层协议的物理地址。
 - 提升了地址解析的安全性
 - 组播缩小了邻居请求 NS 传播的范围。ND 地址解析采用了组播来发送请求，而且是被请求节点组播组，传播范围得到了极大的缩减





ND地址解析过程

- H1 发送NS，目的地址是被请求节点组播地址
- H2收到，提取源IPv6-MAC地址对，更新邻居缓存表
- H2发送NA，标记位S=1
- H1收到NA，提取IPv6-MAC地址对，更新邻居缓存表
- 注意：邻居缓存表类似ARP表



命令提示符 - netsh

```
ff02::1:ff90:7976 33-33-ff-90-79-76 永久
ff05::1:3 33-33-00-01-00-03 永久
```

接口 4: 以太网

Internet 地址	物理地址	类型
2001:250:3000:3cd3::1	58-66-ba-90-79-76	可以访问 (路由器)
2001:250:3000:3cd3:52af:73ff:fe57:41d6	50-af-73-57-41-d6	可以访问 (路由器)
fe80::52af:73ff:fe57:41d6	50-af-73-57-41-d6	可以访问 (路由器)
fe80::5a66:baff:fe90:7976	58-66-ba-90-79-76	停滞 (路由器)
ff02::1	33-33-00-00-00-01	永久
ff02::2	33-33-00-00-00-02	永久
ff02::e	33-33-00-00-00-0c	永久
ff02::16	33-33-00-00-00-16	永久
ff02::fb	33-33-00-00-00-fb	永久
ff02::1:2	33-33-00-01-00-02	永久
ff02::1:3	33-33-00-01-00-03	永久
ff02::1:ff00:a02	33-33-ff-00-0a-02	永久
ff02::1:ff50:3b05	33-33-ff-50-3b-05	永久
ff02::1:ff57:41d6	33-33-ff-57-41-d6	永久
ff02::1:ff87:d9a	33-33-ff-87-0d-9a	永久
ff02::1:ff90:7976	33-33-ff-90-79-76	永久
ff02::1:ffae:4509	33-33-ff-ae-45-09	永久
ff05::1:3	33-33-00-01-00-03	永久





邻居缓存表中条目的状态

- 未完成：表示正在解析这个邻居的地址，邻居的 MAC 地址还未确定
- 可达：表示成功地完成了地址解析，邻居是可达的，可以和处于此状态的邻居进行通信
- 失效：表示不确定邻居是否可达；这是一个稳定、可长期存在的状态
- 延迟：表示不确定邻居是否可达，但这不是一个稳定的状态，它期望在定时器超期之前可以收到邻居的“可达性证实信息”
- 探测：表示不确定邻居是否可达，但是，节点向处于此状态的邻居发送 NS，直到收到“可达性证实信息”，然后，迁移到可达状态



主要内容



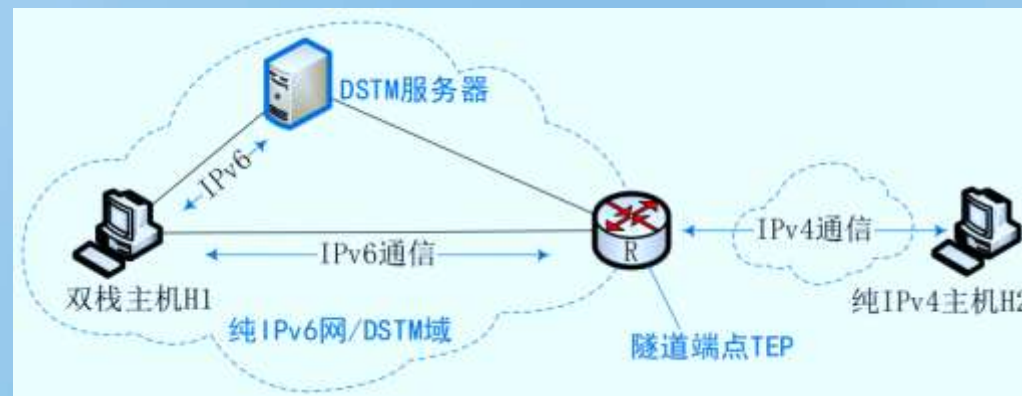
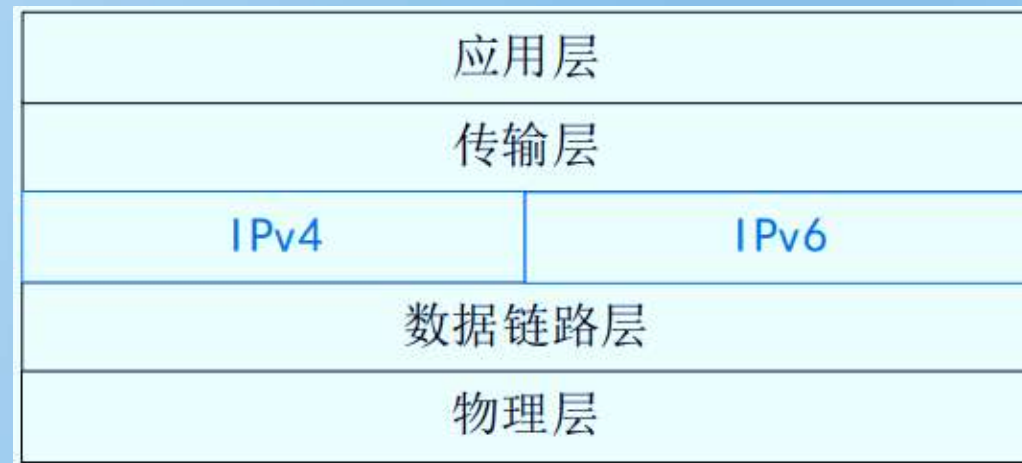
- IPv6分组 (5.4.1)
- IPv6编址 (5.4.2)
- ICMPv6 (5.4.3)
- 邻居发现ND (5.4.4)
- IPv6过渡技术 (5.4.5)
 - 双协议栈
 - 隧道技术
 - 网络地址转换-协议转换NAT-PT





双协议栈

- 中间交换设备都支持双栈
- DNS 服务器需要做相应的配置，“AAAA” 类型对应128位IPv6地址
- 节点优先使用IPv6通信，不通才使用IPv4通信（happy eyeball算法）
- 双协议栈过渡机制DSTM应用于以IPv6 为主的第三阶段过渡期，为零星IPv4 孤岛提供解决方案，而不消耗更多的全球 IPv4 地址





其它隧道技术

- **通用路由封装GRE**：一种通用的点到点隧道机制，除了可以封装 IPv6 之外，还可以将很多其他协议封装到 IPv4 中，GRE 封装引入了 8~16 字节的开销，当 IPv4 分组中搭载了 GRE 数据，头部中的协议字段的值为 **47**。很多路由器上实现了 GRE
- **Teredo 隧道**：旨在解决 6to4 隧道通常不能穿越有 NAT（网络地址转换）的 IPv4 网络的局限；Teredo 隧道可以让位于一个或多个 NAT 之后的节点，通过 UDP 隧道，连接到 IPv6 网络；Teredo 隧道需要 Tered 服务器和中继器才能实施





网络地址转换-协议转换NAT-PT

- 不仅要完成 4/6 地址的转换，还要完成 IPv4 分组和 IPv6 分组的转换，所以，这种过渡技术全称是网络地址转换-协议转换（NAT-PT），有时也叫做翻译





练习

1、IPv6分组被封装在IPv4分组中，以穿过IPv4网络，这是使用了什么过渡（迁移）技术？（From CCNA）

- A、隧道
- B、翻译/转换
- C、双栈
- D、其余答案均不正确

解析：翻译/转换技术是直接转换IPv4/v6地址；双栈技术是既采用IPv4又采用IPv6；只有隧道技术，是IPv6分组整体被当作数据封装到v4分组中。





本章小结_1

- IPv6的优势
- IPv6分组：固定头+扩展头+数据
- IPv6地址的冒分十六进制表示及简化原则
- IPv6单播地址
 - 链路本地地址LLA的生成
 - 全球单播地址的生成，从RA中提取前缀，接口ID有3种获取途径
 - M-EUI-64
 - 随机生成
 - 手工配置





本章小结_2

■ IPv6全球单播地址的获取

- 无状态地址自动配置SLAAC
- 有状态地址自动配置DHCPv6

■ IPv6组播地址

- 被请求节点组播组地址

■ IPv6任播地址

■ ICMPv6

- 差错消息：0~127
- 信息消息：128~255





本章小结_3

■邻居发现

- 地址解析：邻居缓存表
- 重复地址检测
- 不可达检测

■IPv6过渡技术

- 双协议栈
- 隧道技术
- 网络地址转换-协议转换NAT-PT





练习

1、对于IPv6，正确的描述是？

- A. IPv6地址数量是 IPv4 地址数量的 2^{96} 倍
- B. IPv6 对 IPv4 向后兼容
- C. IPv6 地址数量是 IPv4地址数量的 4 倍
- D. IPv6 可以代表最大数量为 2^{96} 的IP地址

解析：IPv6地址二进制位是128，提供的地址数是 2^{128} ，而IPv4地址二进制位数有32位，提供的地址数是 2^{32} ，所以IPv6地址数是IPv4地址数的 $2^{128}/2^{32}=2^{96}$ 倍。





练习

IPv4 头中的 Protocol 字段并没有出现在 IPv6 的固定头中，试问为什么？

答：

(1)在 IPv6 的分组中，除了基本头部还有扩展头部，如果继续使用“protocol”字段，无法表示 IPv6 分组的基本头、扩展头和载荷之间的关系；

(2)事实上，在 IPv6 分组中，有一个字段“Next Header”，当 IPv6 分组中只有基本头部和 载荷时，它就退化为“protocol”的含义了。





本章对应的中英文术语_1

英文名称	缩写	对应的中文名称
IP Packet		IP 分组
Time to Live (IPv6: hop limit)	TTL (HP)	生存时间 (以跳数为单位)
Flow Label		流标签
Next Header		下一个头
Dotted Decimal Notation		点分十进制
Colon Hex Notation		冒分十六进制
Stateless Address Auto configuration	SLAAC	无状态地址自动配置
Global Unicast Address	GUA	全球单播地址
Link- Local Address	LLA	链路本地地址





致谢和声明

- 本课程课件中的绝大部分插图来自于
 - 袁华，王昊翔，黄敏主编《深入理解计算机网络》，清华大学出版社
- 其余的部分素材来自于
 - 华为智能基座课程
 - 思科网络技术学院教程
 - 网络上搜到的其它公开资料
- 特别对资料的各提供机构和个人表示诚挚的感谢！
- 引用的素材，仅用于课程学习，如果有任何问题，请与我们联系！

