

第四章：网络层

一、简介

1. 功能概述：把分组从源端传输到目的端，为分组交换网上的不同主机提供通信服务
2. 传输单位：数据报。数据报是多个分组集合而成的
3. 功能分类
 - (1) 路由选择与分组转发
 - (2) 异构网络互联
 - (3) 拥塞控制

二、数据交换

(一) 概述

1. 作用：节省链路数量和长度，并且使多个主机间能够互相通信



2. 相同条件下转发时间最少的条件：数据经过的交换设备数量最少

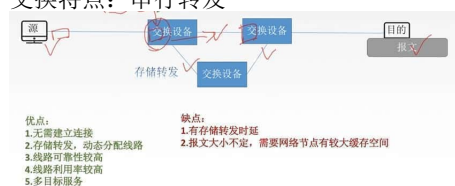
(二) 电路交换

1. 常见例子：电话
2. 交换特点



(三) 报文交换

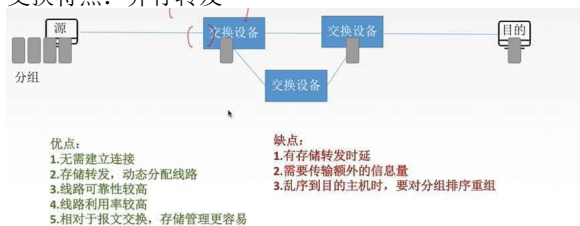
1. 报文的概念：源应用发送的信息整体
2. 交换特点：串行转发



(四) 分组交换

1. 分组的概念：把大的数据块拆分成多个小的数据块

2. 交换特点：并行转发



3. 具体方式分类

数据报方式为网络层提供**无连接服务**。无连接服务：不事先为分组的传输确定传输路径，每个分组独立确定传输路径，不同分组传输路径可能不同。

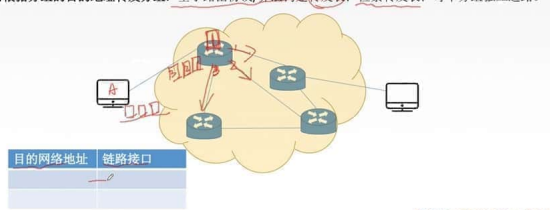
虚电路方式为网络层提供**连接服务**。连接服务：首先为分组的传输确定传输路径（建立连接），然后沿该路径（连接）传输系列分组，系列分组传输路径相同，传输结束后拆除连接。

4. 数据报方式

无连接 无连接服务：不事先为分组的传输确定传输路径，每个分组独立确定传输路径，不同分组传输路径可能不同。

每个分组携带源和目的地址

路由器根据分组的目的地址转发分组：基于路由协议/算法构建转发表；检索转发表；每个分组独立选路。

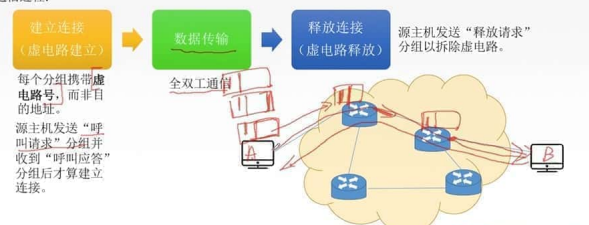


5. 虚电路交换方式

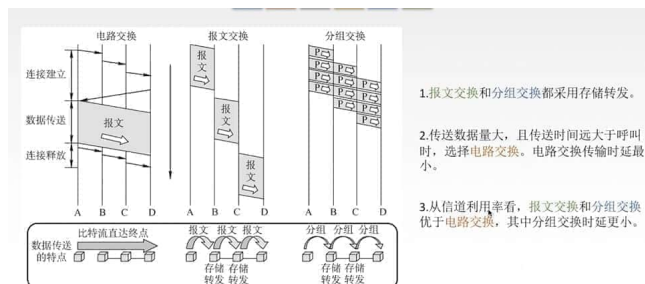
虚电路将数据报方式和电路交换方式结合，以发挥两者优点。

虚电路：一条源主机到目的主机类似于电路的路径（逻辑连接），路径上所有结点都要维持这条虚电路的建立，都维持一张虚电路表，每一项记录了一个打开的虚电路的信息。

通信过程：



(五) 三种交换方式的对比

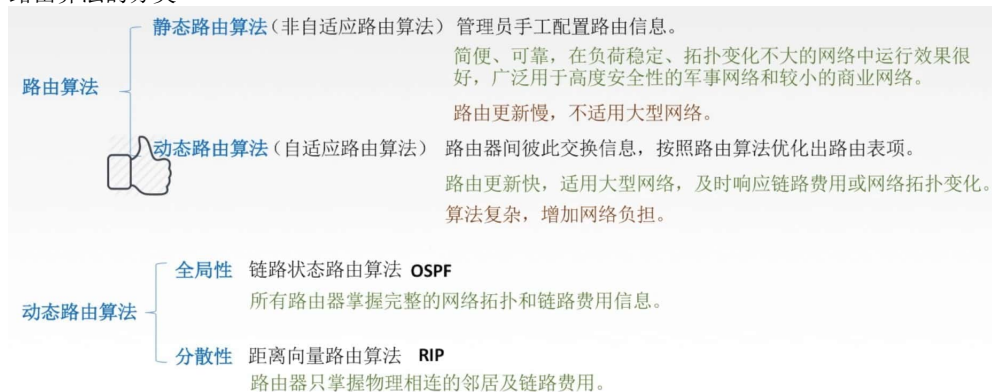


三、路由算法与路由协议

(一) 简介

1. 路由算法的功能：选出最佳路由并填写到路由表之中

2. 路由算法的分类



3. 分层次的路由选择协议

- (1) 因特网规模很大
- (2) 许多单位不想让外界知道自己的路由选择协议，但还想连入因特网



自治系统AS：在单一的技术管理下的一组路由器，而这些路由器使用一种AS内部的路由选择协议和共同的度量以确定分组在该AS内的路由，同时还使用一种AS之间的路由协议以确定在AS之间的路由。一个AS内的所有网络都属于一个行政单位来管辖，一个自治系统的所有路由器在本自治系统内都必须连通。



(二)RIP 协议与距离向量算法

1. RIP 协议概述

RIP是一种分布式的基于**距离向量**的路由选择协议，是因特网的协议标准，最大优点是**简单**。

RIP协议要求网络中每一个路由器都维护从它自己到其他每一个目的网络的**唯一最佳距离记录**（即一组距离）。

距离：通常为“跳数”，即从源端口到目的端口所经过的路由器个数，经过一个路由器跳数+1。特别的，从一路由器到直接连接的网络距离为1。RIP允许一条路由最多只能包含15个路由器，因此距离为**16表示网络不可达**。

➡ RIP协议只适用于**小互联网**。



和哪些路由器交换信息？

在什么时候交换信息？

交换什么信息？

交换

R2的路由表		
目的网络	距离	下一跳路由器
Net2	1	直接交付
Net1	2	R1
Net4	2	R3

2. RIP 协议的特点

1. 仅和**相邻路由器**交换信息。

2. 路由器交换的信息是**自己的路由表**。



“我到Net1网络的（最短）距离是5跳，下一跳应该走R1路由器……”

3. **每30秒**交换一次路由信息，然后路由器根据新信息更新路由表。若超过**180s**没收到邻居路由器的通告，则判定邻居没了，并更新自己路由表。

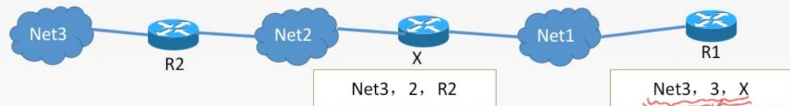
路由器刚开始工作时，只知道直接连接的网络的距离（距离为1），接着每一个路由器也只会和数目非常有限的相邻路由器交换并更新路由信息。

经过若干次更新后，所有路由器最终都会知道到达本自治系统任何一个网络的最短距离和下一跳路由器的地址，即“**收敛**”。

3. 距离向量算法

1. 修改相邻路由器发来的RIP报文中所有表项

对地址为X的相邻路由器发来的RIP报文，修改此报文中的所有项目：把“下一跳”字段中的地址改为X，并把所有的“距离”字段+1。



2. 对修改后的RIP报文中的每一个项目，进行以下步骤：

(1) R1路由表中若没有Net3，则把该项目填入R1路由表

(2) R1路由表中若有Net3，则查看下一跳路由器地址：

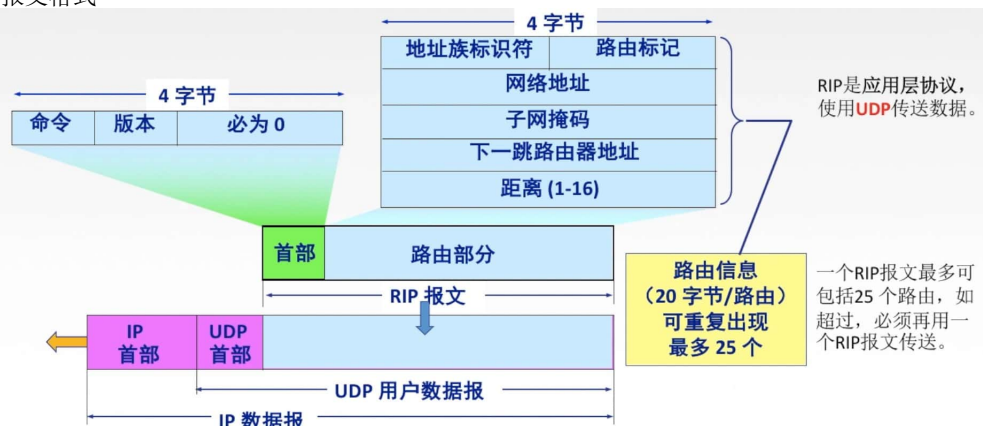
若下一跳是X，则用收到的项目替换源路由表中的项目；

若下一跳不是X，原来距离比从X走的距离远则更新，否则不作处理。

3. 若180s还没收到相邻路由器X的更新路由表，则把X记为不可达的路由器，即把距离设置为16。

4. 返回

4. 报文格式



5. 故障信息传输：传得慢，因为有可能陷入无用的循环

(三) OSPF 协议与链路状态算法

1. OSPF 协议概述

开放最短路径优先OSPF协议：“开放”标明OSPF协议不是受某一家厂商控制，而是公开发表的；“最短路径优先”是因为使用了Dijkstra提出的最短路径算法SPF。

OSPF最主要的特征就是使用分布式的链路状态协议。

2. OSPF 协议的特点

OSPF的特点：

- | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 和谁交换？ | 1. 使用洪泛法向自治系统内所有路由器发送信息，即路由器通过输出端口向所有相邻的路由器发送信息，而每一个相邻路由器又再次将此信息发往其所有的相邻路由器。 广播 |
| 交换什么？ | 2. 发送的信息就是与本路由器相邻的所有路由器的链路状态（本路由器和哪些路由器相邻，以及该链路的度量/代价——费用、距离、时延、带宽等）。 |
| 多久交换？ | 3. 只有当链路状态发生变化时，路由器才向所有路由器洪泛发送此信息。 |

最后，所有路由器都能建立一个链路状态数据库，即全网拓扑图。

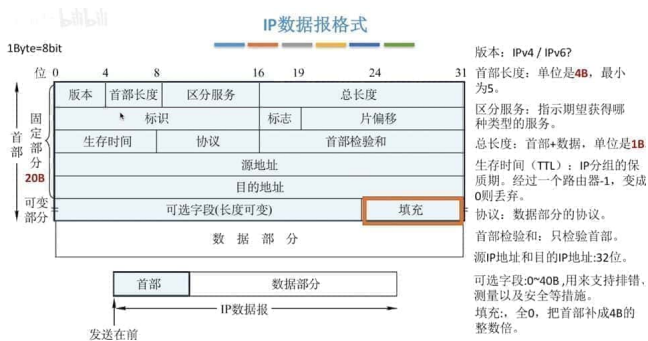
四、IPv4

(一) IP 数据报

1. 基本格式

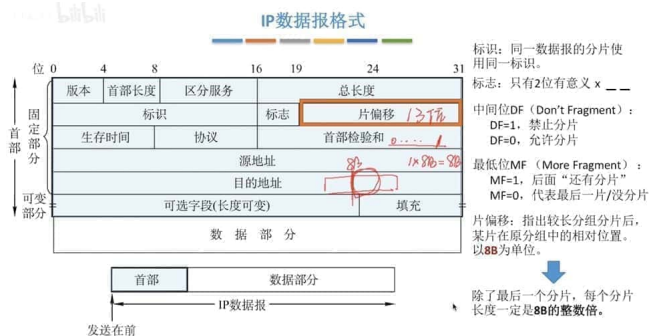


2. 首部格式



3. 数据报分片

- (1) 原因: 数据链路层存在数据帧可封装数据的上限, 数据帧不能过大
- (2) 与数据报分片有关的参数在首部中标识、标志和片偏移三个部分中



(3) 例子



(二) 简介

1. 分类的 IP 地址: 是一种传统方法, 类似于身份证号



IP地址: 全世界唯一的32位/4字节标识符, 标识路由器主机的接口。

IP地址::={<网络号>,<主机号>}

11011111 00000001 00000001 00000001 = 223.1.1.1

点分十进制

2. 分类

	0	1	2	3	8	16	24	32
A类(1~126)	0	1	B		网络号	主机号		
B类(128~191)	1	0	2		B	网络号	主机号	
C类(192~223)	1	1	0	3		B	网络号	主机号
D类(224~239)	1	1	1	0	多播地址			
E类(240~255)	1	1	1	1	保留为今后使用			

3. 特殊的 IP 地址

特殊IP地址				
NetID 网络号	HostID主机 号	作为IP分组成 源地址	作为IP分组成 目的地址	用途
全0	全0	可以	不可以	本网范围内表示主机，路由表中用于表示默认路由（表示整个Internet网络）
全0	特定值	不可以	可以	表示本网内某个特定主机
全1	全1	不可以	可以	本网广播地址（路由器不转发）
特定值	全0	不可以	不可以	网络地址，表示一个网络
特定值	全1	不可以	可以	直接广播地址，对特定网络上的所有主机进行广播
127	任何数 (非全0/1)	可以	可以	用于本地软件换回测试，称为环回地址

4. 私有的 IP 地址

地址类别	地址范围	网段个数
A类	10.0.0.0~10.255.255.255	1
B类	172.16.0.0~172.31.255.255	16
C类	192.168.0.0~192.168.255.255	256

5. 不同分类下的网络与主机的数量上限

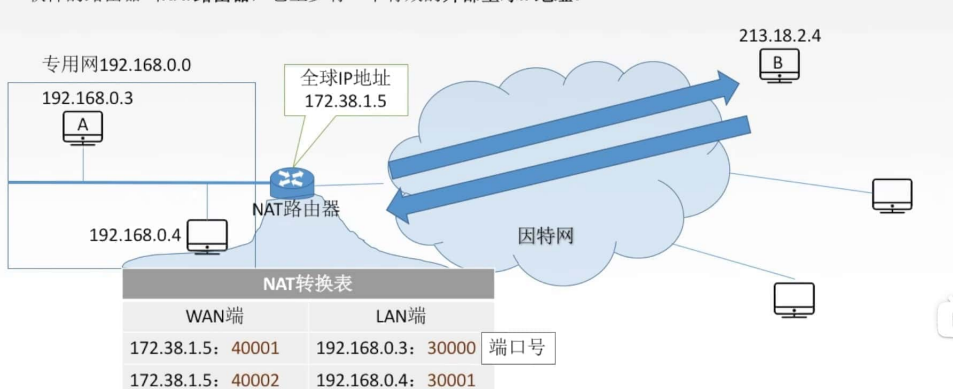
A类(1~126)	0 1 2 3 8 16 24 32 0 1B 网络号 主机号
B类(128~191)	1 0 2B 网络号 主机号
C类(192~223)	1 1 0 3B 网络号 主机号
D类(224~239)	1 1 1 0 多播地址
E类(240~255)	1 1 1 1 保留为今后使用

网络类别	最大可用网络数	第一个可用的网络号	最后一个可用的网络号	每个网络中的最大主机数
A	2^7-2	1	126	$2^{24}-2$
B	$2^{14}-1$	128.1	191.255	$2^{16}-2$
C	$2^{21}-1$	192.0.1	223.255.255	2^8-2

(三) 网络地址转换 NAT

1. 概述

网络地址转换NAT（Network Address Translation）：在专用网连接到因特网的路由器上安装NAT软件，安装了NAT软件的路由器叫NAT路由器，它至少有一个有效的外部全球IP地址。



2. 功能：将私有 IP 地址和全球 IP 地址进行转换，使得内部网络也能与外部通信

(四) 子网划分与子网掩码

1. 分类 IP 地址的缺点

分类的IP地址的弱点:

- 1.IP地址空间的利用率有时很低。
- 2.两级IP地址不够灵活。

2. 子网划分的优点：可以灵活增加单位的网络

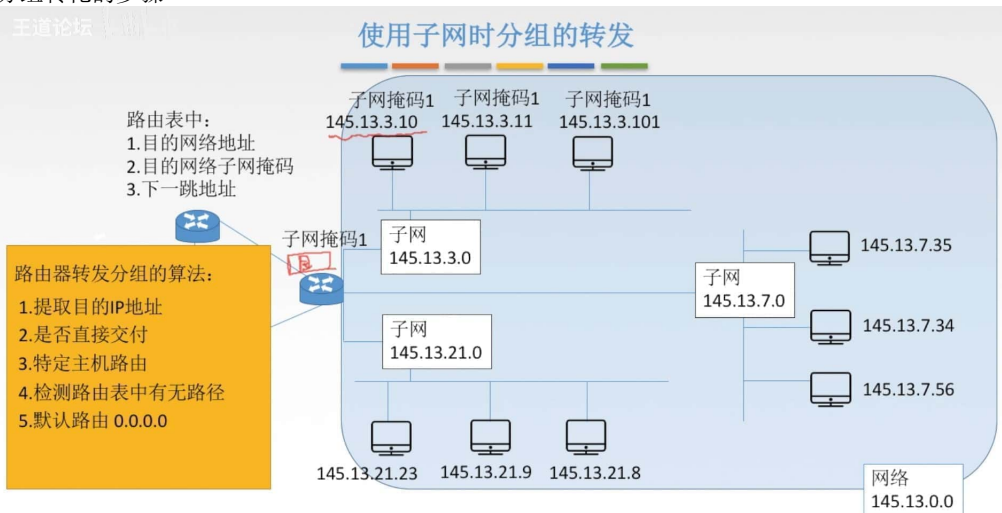
3. 子网划分的方式



4. 子网掩码：可以根据目的 IP 地址通过一定计算得出子网网络的地址

两级IP地址	145	13	3	10
两级IP地址的子网掩码	11111111	11111111	00000000	00000000
三级IP地址	145	13	3	10
三级IP地址的子网掩码	11111111	11111111	11111111	00000000
子网的网络地址	145	13	3	0

5. 分组转化的步骤



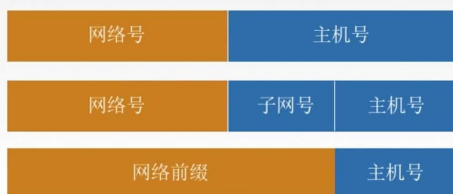
(五) 无分类编址 CIDR

1. 特点

无分类域间路由选择CIDR:

1. 消除了传统的A类、B类和C类地址以及划分子网的概念。

2. 融合子网地址与子网掩码，方便子网划分。



CIDR记法: IP地址后加上“/”，然后写上网络前缀（可以任意长度）的位数。 e.g. 128.14.32.0/20

CIDR把网络前缀都相同的连续的IP地址组成一个“CIDR地址块”。

128.14.35.7/20是某CIDR地址块中的一个地址

二进制: 10000000 00001110 00100011 00000111

最小地址: 10000000 00001110 00100000 00000000
128.14.32.0

最大地址: 10000000 00001110 00101111 11111111
128.14.47.255

地址块: 128.14.32.0/20 “/20地址块”

地址掩码（子网掩码）:

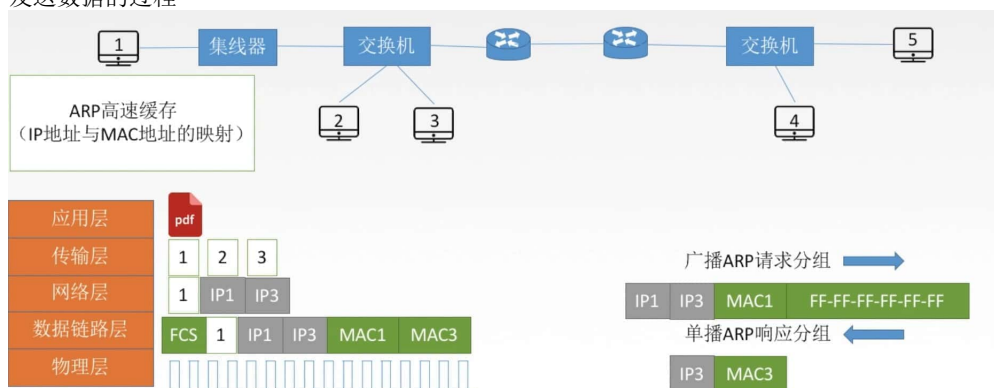
11111111 11111111 11110000 00000000

2. 构成超网: 将多个子网聚合成一个更大的子网，方法为将网络前缀缩短，使两个子网具有新的相同的前缀

3. 最长前缀匹配: 当有多个地址可供匹配时，应选择前缀最长的那个

(五) ARP 协议

1. 发送数据的过程



2. ARP 协议: 请求与响应分组, 通过 IP 地址获取 MAC 地址

由于在实际网络的链路上传送数据帧时，最终必须使用MAC地址。

ARP协议: 完成主机或路由器IP地址到MAC地址的映射。解决下一跳走哪的问题

ARP协议使用过程:

检查ARP高速缓存，有对应表项则写入MAC帧，没有则用目的MAC地址为FF-FF-FF-FF-FF-FF的帧封装并广播ARP请求分组，同一局域网中所有主机都能收到该请求。目的主机收到请求后就会向源主机单播一个ARP响应分组，源主机收到后将此映射写入ARP缓存（10-20min更新一次）。

ARP协议4种典型情况:

1. 主机A发给本网络上的主机B: 用ARP找到主机B的硬件地址;
2. 主机A发给另一网络上的主机B: 用ARP找到本网络上一个路由器（网关）的硬件地址;
3. 路由器发给本网络的主机A: 用ARP找到主机A的硬件地址;
4. 路由器发给另一网络的主机B: 用ARP找到本网络上的一个路由器的硬件地址。

ARP协议自动进行

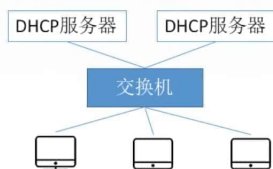
(六) DHCP 协议

1. 功能: 动态分配 IP

2. 具体内容

动态主机配置协议DHCP是应用层协议，使用客户/服务器方式，客户端和服务端通过广播方式进行交互，基于UDP。DHCP提供即插即用联网的机制，主机可以从服务器动态获取IP地址、子网掩码、默认网关、DNS服务器名称与IP地址，允许地址重用，支持移动用户加入网络，支持在用地址续租。

- 1.主机广播DHCP发现报文 “有没有DHCP服务器呀？” 试图找到网络中的服务器，服务器获得一个IP地址。
- 2.DHCP服务器广播DHCP提供报文 “有！”“有！”“有！” 服务器拟分配给主机一个IP地址及相关配置，先到先得。
- 3.主机广播DHCP请求报文 “我用你给我的IP地址啦？” 主机向服务器请求提供IP地址。
- 4.DHCP服务器广播DHCP确认报文 “用吧！” 正式将IP地址分配给主机。



(七)ICMP 协议

1. 功能：用于发送 ICMP 报文，进行差错控制与询问
2. 概述

ICMP协议支持主机或路由器：



3. 差错报文

1. **终点不可达**：当路由器或主机不能交付数据报时就向源点发送终点不可达报文。
无法交付
2. **源点抑制**：当路由器或主机由于拥塞而丢弃数据报时，就向源点发送源点抑制报文，使源点知道应当把数据报的发送速率放慢。
拥塞丢数据
3. **时间超过**：当路由器收到生存时间TTL=0的数据报时，除丢弃该数据报外，还要向源点发送时间超过报文。当终点在预先规定的时间内不能收到一个数据报的全部数据报片时，就把已收到的数据报片都丢弃，并向源点发送时间超过报文。
TTL=0
4. **参数问题**：当路由器或目的主机收到的数据报的首部中有的字段的值不正确时，就丢弃该数据报，并向源点发送参数问题报文。
首部字段有问题
5. **改变路由（重定向）**：路由器把改变路由报文发送给主机，让主机知道下次应将数据报发送给另外的路由器（可通过更好的路由）。
值得更好的路由

4. 询问报文

1. **回送请求和回答报文** 主机或路由器向特定目的主机发出的询问，收到此报文的主机必须给源主机或路由器发送ICMP回送回答报文。测试目的站是否可达以及了解其相关状态。
2. **时间戳请求和回答报文** 请某个主机或路由器回答当前的日期和时间。用来进行时钟同步和测量时间。

五、IPv6

1. 产生原因：从根本上解决地址耗尽的问题；改进首部格式
2. 数据报格式



3. 地址表示形式

一般形式 冒号十六进制记法: 4BF5:AA12:0216:FEBC:BA5F:039A:BE9A:2170

压缩形式 4BF5:0000:0000:0000:BA 5F:039A:000A:2176

4BF5:0:0:0:BA5F:39A:A:2176。

零压缩：一连串连续的0可以被一对冒号取代。

FF05:0:0:0:0:0:B3

FF05::B3

双冒号表示法在一个地址中仅可出现一次。

4. 地址类型

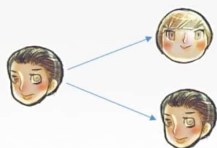
单播

一对一通信 可做源地址+目的地址



多播

一对多通信 可做目的地址



任播

一对多中的一个通信 可做目的地址

