网络层

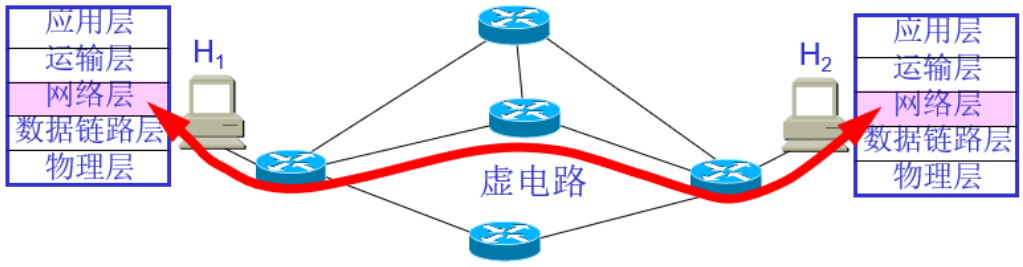
前引

网络层关注**如何将分组从源端沿着网络路径送达目的端**

在计算机中，可靠传输通过端系统实现

网络层中传输的是IP数据报

网络层提供的两种服务

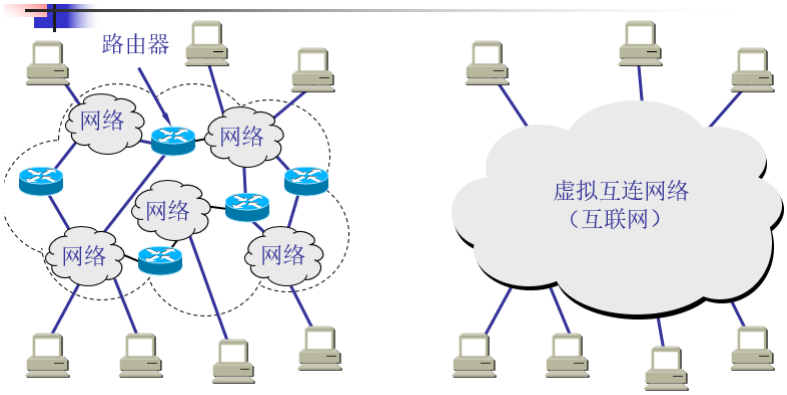
- 虚电路服务
  - 

- 数据报服务
  - 网络在发送分组时不需要先建立连接。每一个分组（即 IP 数据报）独立发送，与其前后的分组无关（不进行编号）
  - 现在互联网利用数据报服务

虚拟互联网

中间设备又称为中继系统

- 物理层的中继系统：转发器
- 数据链路层中继系统：网桥，交换机
- 网络层中继系统：路由器
- 网络层以上中继系统：网关（gateway）
  - 一般计算机的网关配置为相连路由器的IP地址
  - 不配置网关的计算机无法访问其他网段



(a) 互连网络　　(b) 虚拟互连网络

与网际协议IP配套使用的协议

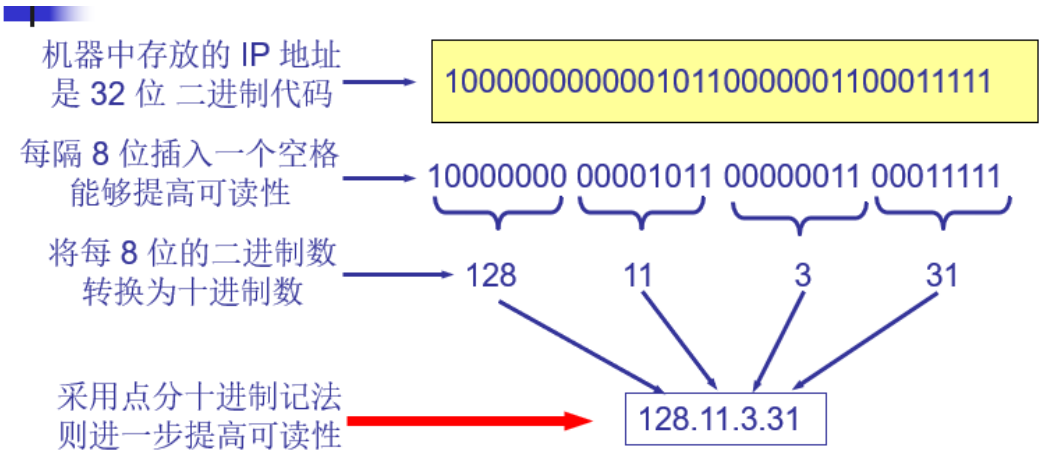
- **地址解析协议 ARP （Address Resolution Protocol）**
- **逆地址解析协议 RARP （Reverse Address Resolution Protocol）**
- **网际控制报文协议 ICMP （Internet Control Message Protocol）**
- **网际组管理协议IGMP （Internet Group Management Protocol）**
- **路由协议**

IP地址

IP层次结构

- 层次化IP地址将**32位的IP地址分为网络ID和主机ID**
- 比如192.168.1.2 ，网络ID 192.168.1 主机ID 2
- 主机ID不能全0，也不能全1，全为1表示广播地址，全为0表示本地网段

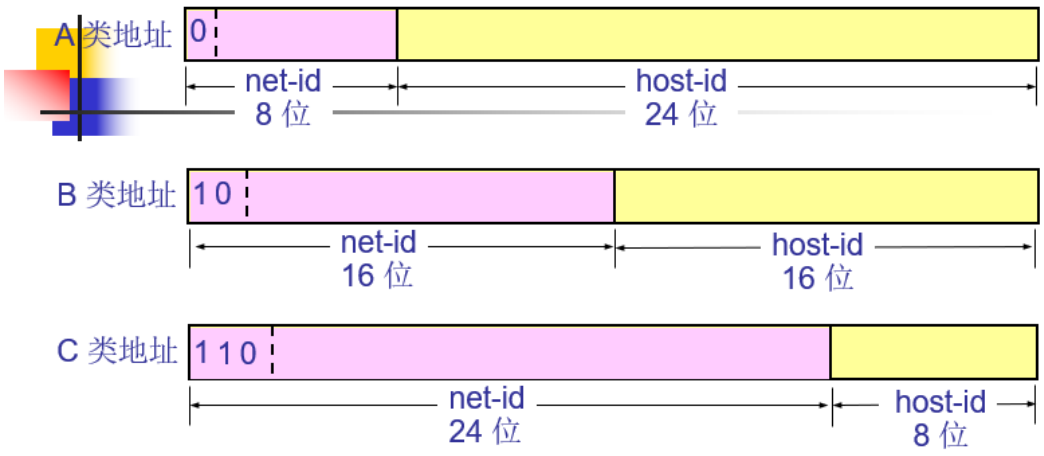
IP地址记法（点分十进制记法）

- 

- 128，192，224，240，248，252，254，255

IP地址分类

- A类地址，默认子网掩码 255.0.0.0
- B类地址　默认子网掩码 255.255.0.0
- C类地址　默认子网掩码 255.255.255.0

- 

-

网络类别	最大网络数	第一个可用的网络号	最后一个可用的网络号	每个网络中最大的主机数
A	126 ($2^7 - 2$)	1	126	16,777,214
B	16,383($2^{14} - 1$)	128.1	191.255	65,534
C	2,097,151 ($2^{21} - 1$)	192.0.1	223.255.255	254

特殊的几个地址

- 127.0.0.1 本地环回地址
- 172.16.0.0 -- 172.31.0.0 B类地址，私有地址，互联网无法访问，一般用于内网
- 192.168.0.0 -- 192.168.255.0 C类地址，私有地址，互联网无法访问，一般用于内网
- 10.x.x.x A类地址，私有地址，一般用于内网

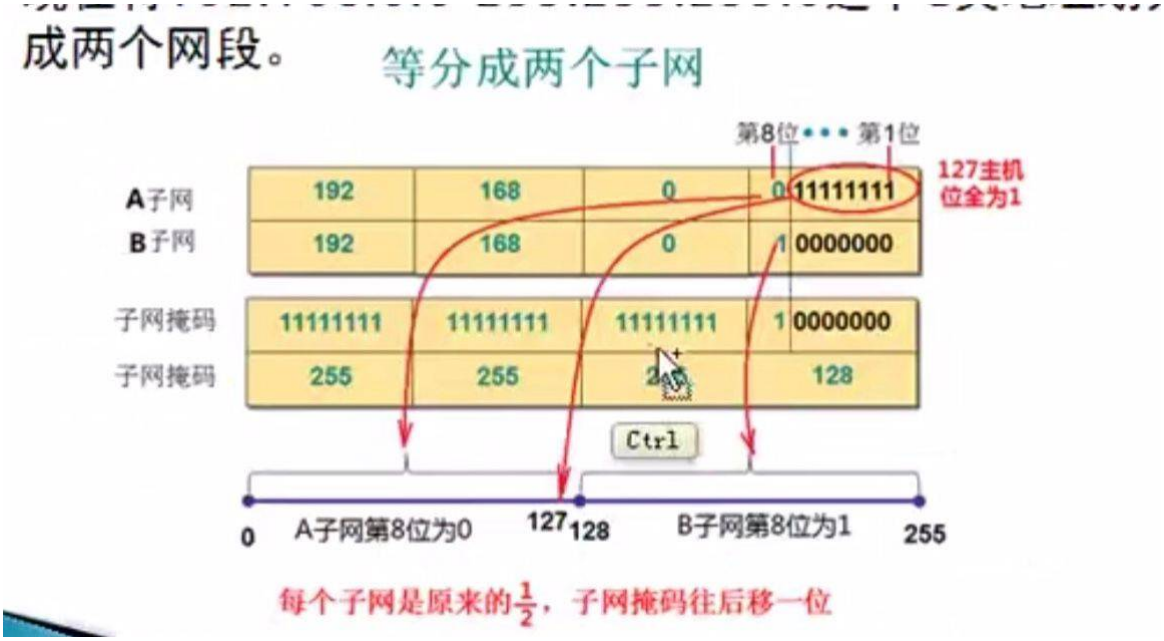
子网掩码

- 用于指明一个IP地址的哪些位标识主机所在的子网（网段），以及主机所在的host id
- 与运算

子网划分

关键在于确定子网掩码

比如192.168.0 网段划分为2个网段，那么**子网掩码为255.255.255.128**，**两个网段为192.168.0.0 和192.168.0.128**



192.168.0.0 网段主机IP地址范围为192.168.0.1 到 192.168.0.126，192.168.0.128网段主机IP地址范围为192.168.0.129到192.168.0.254

- **主机ID不能全0或者全1**

实际上，主机ID与网络ID是一个你增我减的关系，当网络ID位数增加（子网掩码位数增加）时，该网段可以容纳的主机数减少，而网络ID位数减少（子网掩码位数减少）时，该网段可以容纳的主机数增加。因为总位数是一定的，为32位。**根据子网内容纳的主机数来确定子网掩码位数**

换句话说，如果说一个主机的IP地址一定了，那么这32位就已经定了，做所谓的子网划分，网络合并等等都是在决定子网掩码占多少位，主机ID占多少位

构造超网（CIDR）

如192.168.0.0/24 与 192.168.1.0 /24合并，192.168.00000000.00000000 和 192.168.000000001.00000000 进行合并，选择**共同位数最多的部分**，192.168.00000000，也就是192.168.0 网段，子网掩码255.255.254.0

IP 地址 与MAC地址

- IP地址决定了最终目的地与最起始地址
- MAC地址决定了下一跳地址
- 因此在数据传播的过程中，MAC地址会变，而IP地址不会变
- 也就是每经过一次路由器，MAC地址就会变一次（源，目的地），而IP地址（源，目的地）却不会变

ARP协议

- **将IP地址解析为MAC地址**

- 主机发送信息时将包含目标IP地址的ARP请求**广播**到**局域网络**上的所有主机，并接收返回消息，以此确定目标的**物理地址**；收到返回消息后将该IP地址和物理地址存入本机ARP缓存中并保留一定时间，下次请求时直接查询ARP缓存以节约资源。
- ARP 欺骗
  - ARP 为获得MAC地址时，获得了一个错误的MAC地址，这样ping 该IP地址时，实际上一直在ping的是一个错误的MAC地址

RARP协议

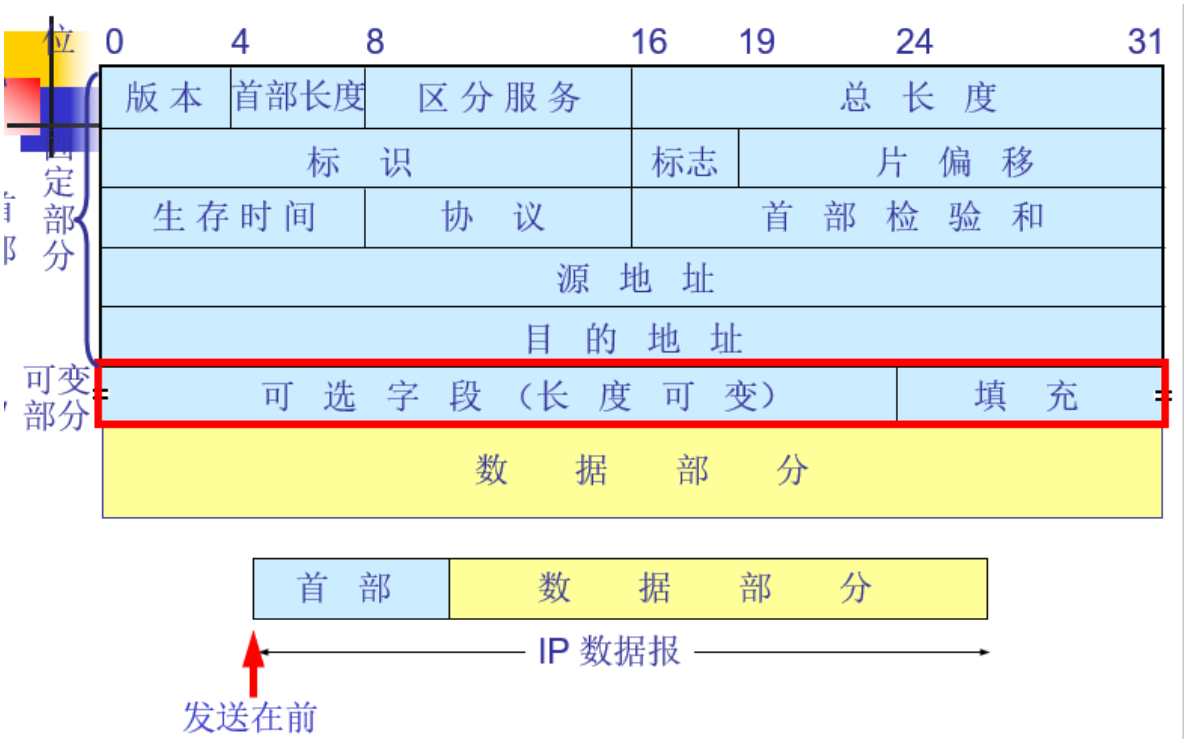
- 将MAC地址解析为IP地址

IP协议

IP数据报

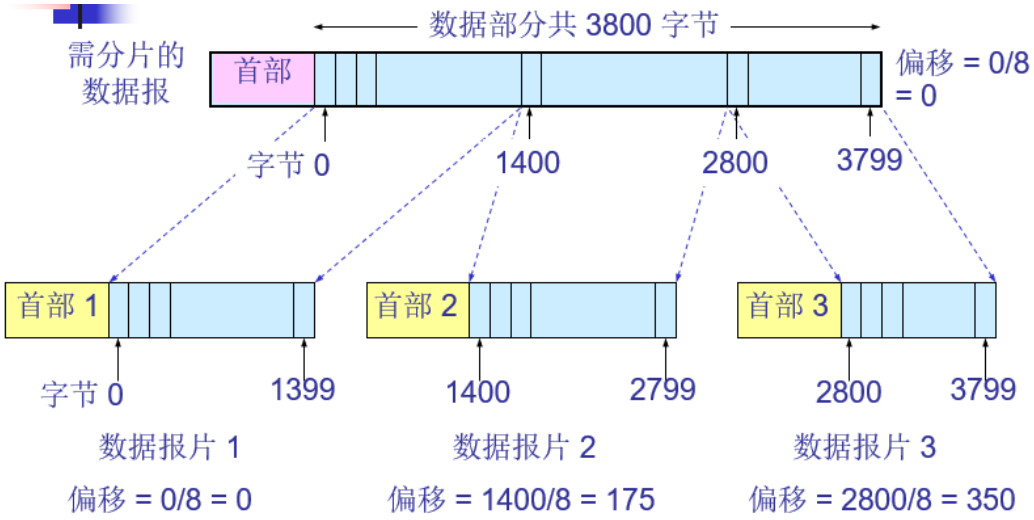
格式：首部+数据部分

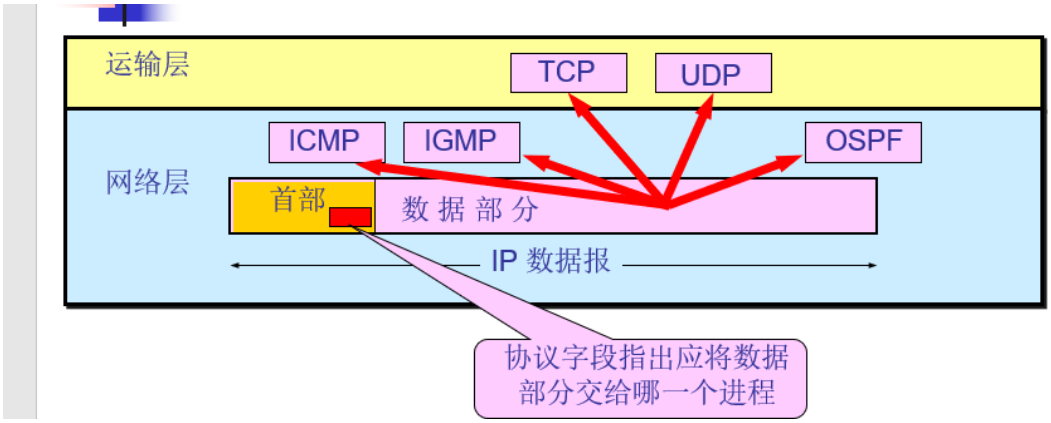
- 首部的前一部分固定长度，20字节，所有IP数据报必须具有
- 首部固定部分后面的是一些可选字段，其长度可变
- 数据部分可变长度



- 版本：IP协议版本号，如4表示IPV4
- 区分服务：用于表示数据的紧急程度，不仅仅数据包需要配置，路由器也需要配置，比如区分服务部分为100表示最紧急，那么经过的路由器需要配置为当区分服务部分为100，最紧急
- **总长度**：首部+数据部分之和的长度
- **标识**：产生数据报的标识
- **标志**：目前只有前两位有意义。

- 标志字段的最低位是 **MF** (More Fragment)。MF = 1 表示后面“还有分片”。MF = 0 表示最后一个分片。
- 标志字段中间的一位是 **DF** (Don't Fragment) 。只有当 DF = 0 时才允许分片。

- **片偏移**：当数据报太大，需要分片发送，记录发送数据的偏移
  - 

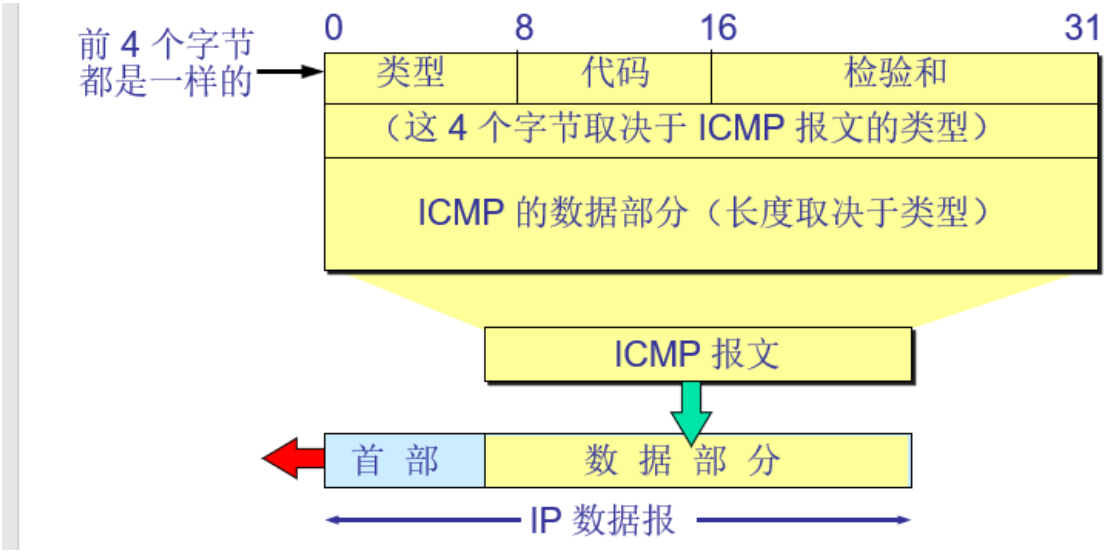
- **生存时间（TTL）**：每过一个路由器减1，表示数据报可以经过的最多的路由器
- **协议**：指明上层协议（传输层的协议）
  - 

- **首部校验和**：**检查首部是否有错误，不校验数据部分是否有错误**

ICMP

- ICMP 差错报告报文
- ICMP 询问报文

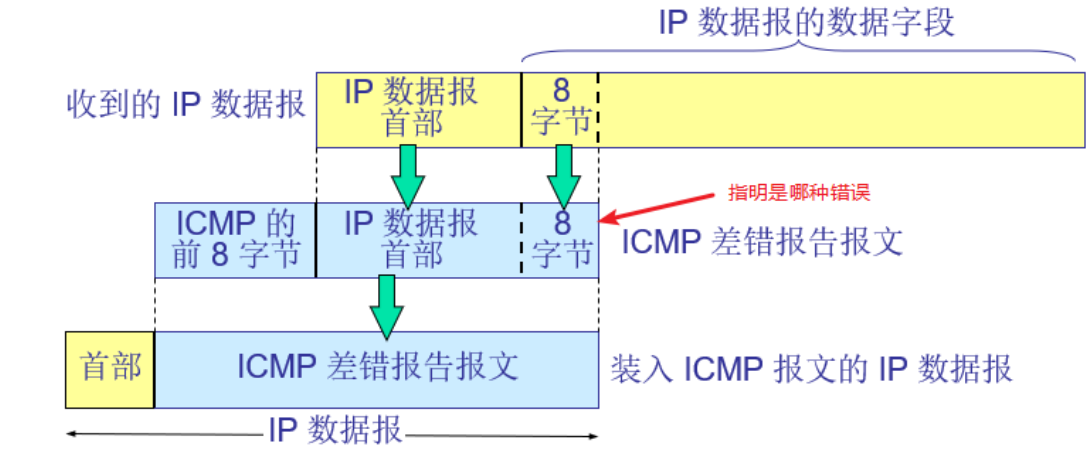
ICMP 报文的格式：可以看到实际上仍然是IP协议的报文，只不过首部的协议部分会指明数据部分是ICMP报文，同时数据部分有着ICMP报文自己的格式



ICMP 差错报告报文的五种错误类型

- 终点不可达
- 源点抑制(Source quench)
- 时间超过
- 参数问题
- 改变路由（重定向）(Redirect)

ICMP差错报告报文的格式

- 

ICMP询问报文

- 回送请求和回答报文
  - PING 使用了 ICMP 回送请求（request）与回送回答（reply）报文。
- 时间戳请求和回答报文

路由协议

按照自适应进行分类

- 非自适应：静态路由协议
- 自适应：动态路由协议，根据网络的业务量以及拓扑来自适应调整

按照路由决策的方式分类

- 集中式：路由控制中心周期性地收集网络中各链路的状态，由路由中心计算后，将路由表提供给个路由器
- 分布式：网络中各路由节点相互交换信息，各节点独立计算出各自的路由表

按照应用场合分类

- 广域网路由/内部网关协议
- 互联网路由/外部网关协议

路由算法

路由协议建立在路由算法的基础上

- 最短路由算法
    - Beliman-Ford 算法
    - Dijkstra算法
    - Floyd-Warshall算法
- 最佳路由算法
- 广播
    - 泛洪法：源节点将消息发送给其相邻的节点，相邻的节点再发送给它们的相邻节点，直到网络中所有的节点收到该消息
        - 为了避免无限制的传输，提出了2个限制
            - 不回传：节点B收到节点A发来的消息，再次转发时，B不转发给A
            - 不重复转发：相同的消息，每个节点只转发一次

建立在最短路由算法之上的路由协议

- **基于距离矢量的路由协议**
    - 基于**B-F算法**
    - 每个路由器维护一张路由表，该表记录了到网络中其他节点的路由信息，包括到该目的节点的下一跳节点和到达该目的节点所需“**距离**”的估计值，每个路由节点会收到相邻路由节点的路信息分组（到某个目的节点的“距离”估计），同时该路由器通过某种方法获得其到相邻路由节点的“距离”
    - 此“距离”可以是跳数，时延以及其他，不唯一，比如下面说的RIP就是跳数
    - 每个节点没有整个网络的拓扑
- **基于链路状态的路由协议**
    - 基于**Dijkstra算法**
    - 有5个步骤
        1. 发现邻节点，获取它们的地址：路由器在每一个输出链路上广播一个Hello包，相邻路由器进行回复
        2. 测量到达每一个邻节点的时延或者成本
        3. 构造链路状态分组
            - 何时构造这些分组：1. 周期性构造　2. 链路状态变化时构造
            - 这些分组包括什么：**发送节点的邻节点列表以及到这些节点的时延**，发送节点的标号等其他必要信息
        4. 发送该分组到其他所有节点（广播）

        - 泛洪法广播
    5. 计算到其他所有节点的最短路径：这时该路由节点得到了整个网络的拓扑，利用Dijkstra算法计算最短路径

静态路由协议

- 提前指定下一跳地址
- 比如指定目的地址为192.168.16.1的下一跳地址为该路由器直连网段上的192.168.14.2

RIP协议

（Routing Information Protocol）协议

内部网关协议

基于距离矢量的路由协议

- 最早的动态路由协议
- 周期性广播（30s），广播每个路由器直连的网段
    - 周期性广播可以达到动态调整路由的效果
    - 这里的广播实际做法是告诉相邻节点自己直连的网段
- 选择最佳路径：跳数
- **最大16跳**

OSPF

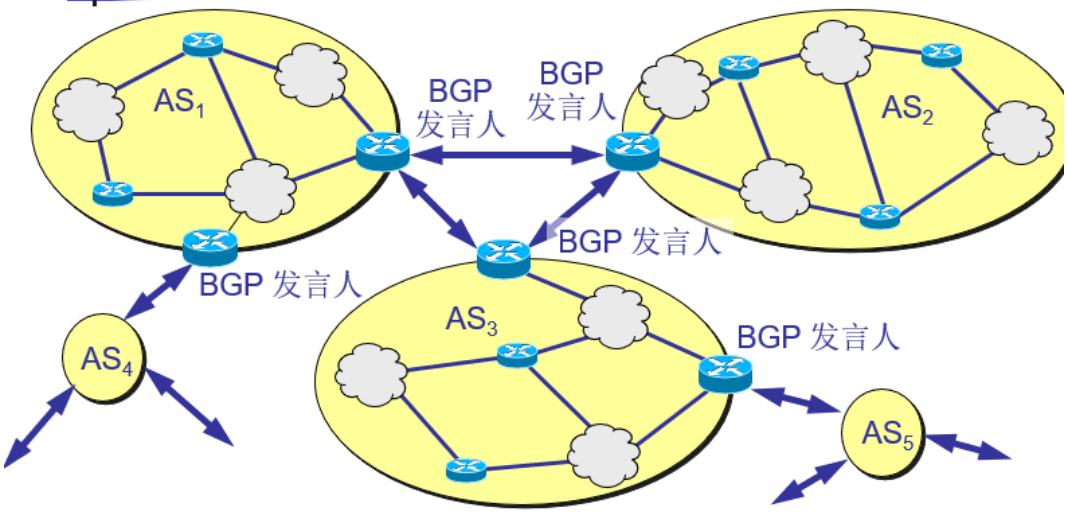
(Open Shortest Path First) 协议

内部网关协议

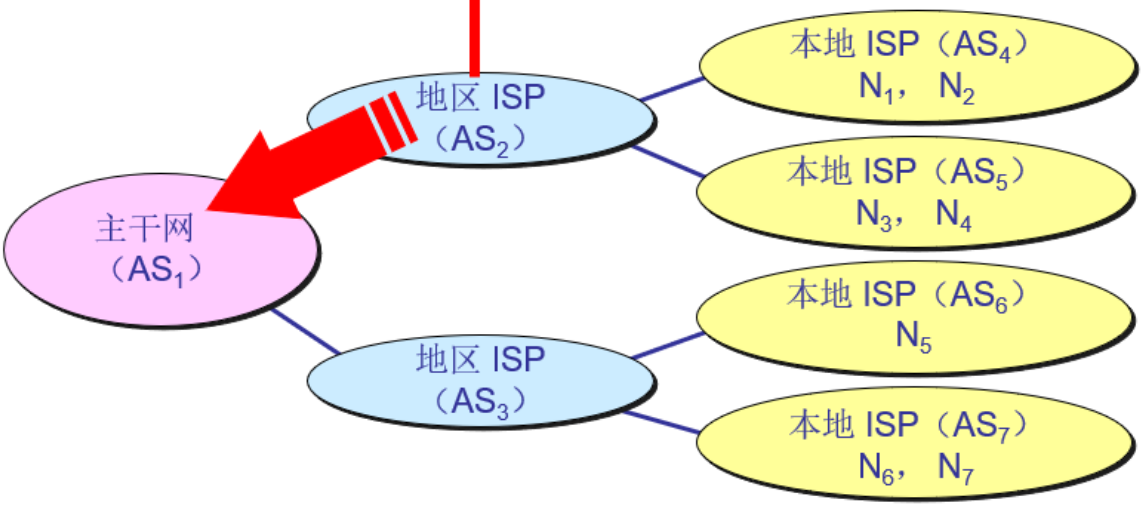
基于链路状态的路由协议

- 最佳路径：带宽
- 支持多区域
- 触发式更新
- 三个表
    - 邻居表：hello包（邻居之间互发hello包），相邻路由器是否健在
    - 链路状态表
        - 向本自治系统中所有路由器发送信息，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
        - 只有当链路状态发生变化时，路由器才用洪泛法向所有路由器发送此信息
    - 计算路由表

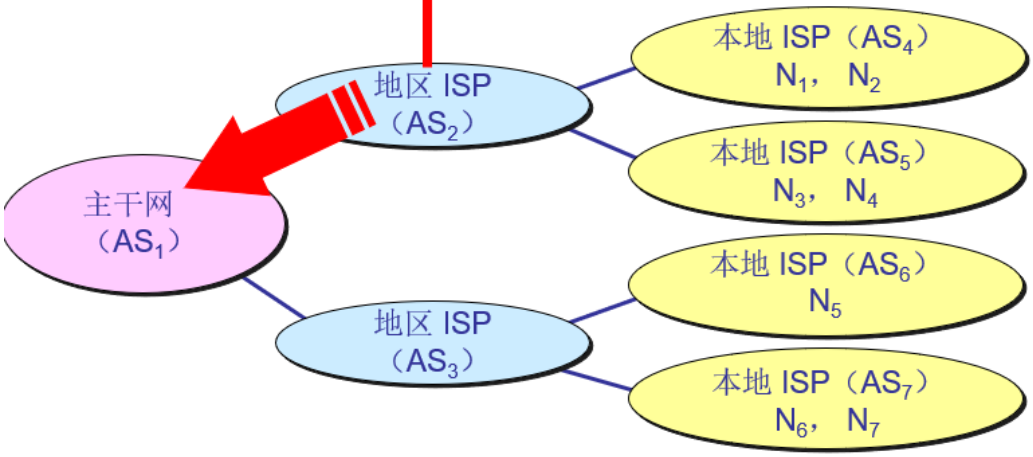
外部网关协议



自治系统 AS_2 的 BGP 发言人通知主干网的 BGP 发言人：“要到达网络 N_1, N_2, N_3 和 N_4 可经过 AS_2。”



自治系统 AS_2 的 BGP 发言人通知主干网的 BGP 发言人：“要到达网络 N_1, N_2, N_3 和 N_4 可经过 AS_2。”



NAT(网络地址转换)

使得内网可以访问外网。

正常情况下，内网中的主机使用的IP地址为上面说的私有IP地址，外网是访问不了内网的，因为不同内网的主机会使用相同的私有IP地址。而NAT做的是内网的主机访问外网时，经过路由器，路由器会将该源IP替换为一个外网IP。而外网的数据报回来时，再将目的IP地址替换为内网的IP地址

严格意义上的NAT是路由器预先分配一些可用的外网IP地址，之后内网的主机访问外网时，将其IP地址替换为可用的外网IP地址中的一个，这样就会有一个问题，内网同一时间可以访问外网的主机数目有限（分配的外网IP地址有限）

我们现在使用的实际上是NAT的变体，PAT以及NAPT。也就是将内网中不同主机映射为一个外网IP地址，但是是不同的端口号。PAT是<内网IP地址><外网IP地址+端口号>，NAPT是<内网IP地址+内网端口号><外网IP地址+端口号>

IGMP协议

组播