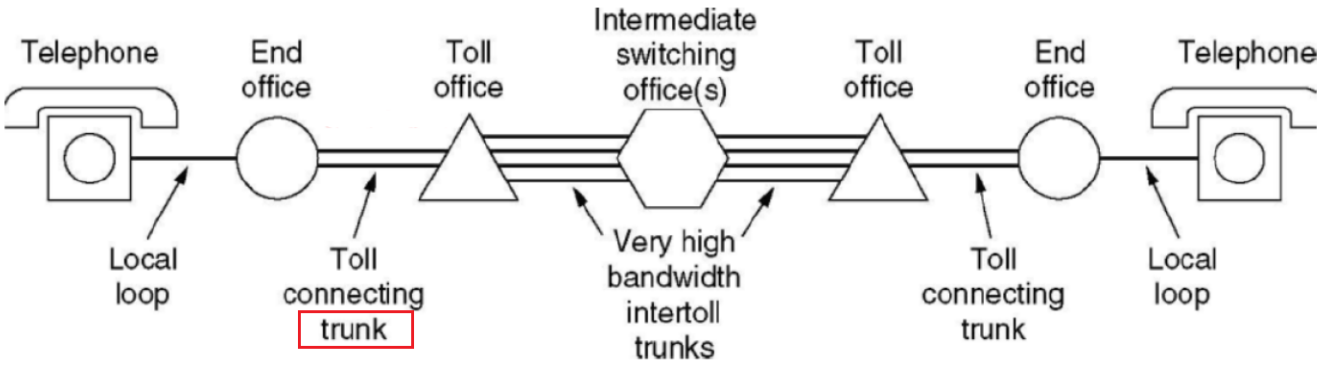
第2章　物理层补充

2.5　公用电话系统 PSTN (重要)

电话将模拟信号转为模拟信号。**codec**是将模拟信号转成数字信号，**modem**是将数字信号转成模拟信号。
公用电话系统用于传递人声，主要分为如下几个部分：

- 本地回路 Local loop：用来传输模拟信号的双绞线，是电话和 end office 之间的
- 干线 Trunk：数字光缆，连接了各个交换局，是两种 end office 和 switching office 之间的
- 交换局 Switching office：进行了通话的交换，从手动切换变成了计算机切换。



其switch是一种典型的circuit switch

2.5.1　中继线和多路复用

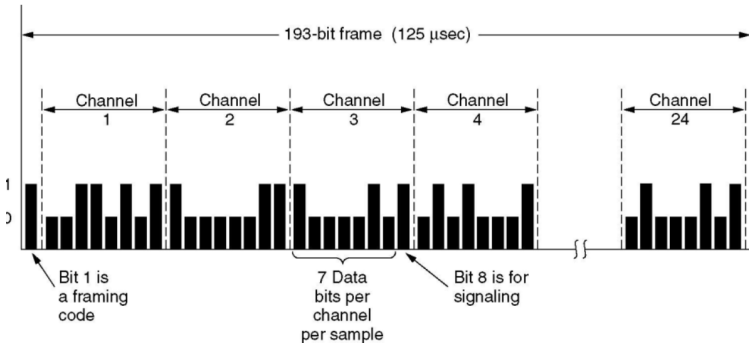
中继器用来将衰减的信号再生，想传的远用中继器。转发器放大信号
Based on the attenuation of light through fiber in the infrared region, three wave length bands are used for optical communication except 1.80

2.5.2　载波 Carrier

PCM 脉冲编码技术：每秒采样 8000 次，每次的采样量化成 8bit 的二进制数

De inition 2.7 *T1 载波*：有 *24* 个 *PCM* 信号，数据传输速率是 *1.544Mbps*，一个数据帧共有 *193* 位，一共有 *24* 个信道，其中每个信道有 *8bit*，*7* 位是数据，*1* 位是信号，第 *1* 位是帧码。因此 *193bit* 中有效的数据有 *168bits*，开销率约为 *13%*

T1 carrier (1.544 Mbps): 24 voice channels multiplexed together



De inition 2.8 *E1* 载波，数据传输速率是 *2.048Mbps*，一共有 *32* 个 *PCM* 信号，其中 *30* 个用来传数据，*2* 个传输信号，因此开销是 *6.25%*

第3章　数据链路层补充

3.2　差错检测和纠正

3.2.1　纠错码 Error Correcting Code

De inition 3.1 假设一帧由 m 位数据和 r 位冗余组成，记 $n = m + r$ 则该编码方式称为 (m, n) 码

De inition 3.2 **海明距离（必考）**：两个码字 *(codeword)* 中不同的位的个数，如果两个码字的海明距离为 d，则需要出现 d 个 *1* 位的错误才能把正确的码字变成错误的码字。(即XOR后1的个数)

- 海明距离为 n 的编码方案只能检测出 n-1 个错误，因为如果 n 位都不同无法判断到底谁是对的
- 为了**检测 d** bit错误，需要 d+1 的海明距离的编码方案
- 而为了**纠正 d** bit错误，则需要 2d+1 个解决方案

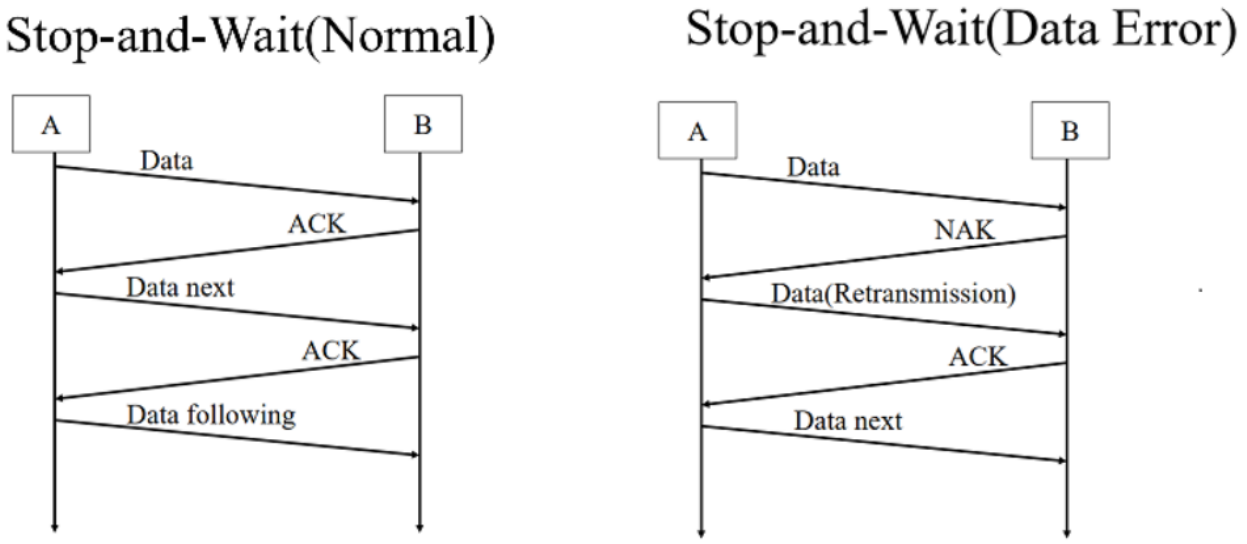
对于每 2^m 个合法的消息，每个消息对应有 n 个非法的码字 (即海明距离为 1 的非法码字有 n 个)，此时每个合法的消息需要 n+1 位来标识，由于总共有 2^n 种位模式，因此必须有 $(n+1)2^m \leq 2^n$，即 $(n+1) \leq 2^r$

Definition 3 .3 海明编码*:*海明距离为 *3*，可以发现 *2* 位的错误和纠正 *1* 位的错误，将码字内的位编号为 *1* 到 n，其中 *2* 的幂次位数就是校验码，其余的都是数据

3.3.3 停止等待协议 Stop-and-wait Protocol （必考）

是最简单的通信协议，每次发送完毕之后，发送方就停止，等待接收方收到数据并发送 ACK 回应包，之后再进行下一次的发送。但是可能会出现如下异常：

- 如果收到了 NAK 包则表示不确认，需要发送方重新发送
- 如果产生了丢包就会一直等不到发送方的回复，此时可以尝试主动重发
- 如果产生了 ACK 包的丢失也会导致发送方重发，但是此时接收方会丢弃接收的数据并再次发送 ACK



对于发送方的数据包可以用 1bit 的位置来进行标记，也可以用 01 交替的方式表示发送的是一个新的数据包而不是旧的数据包重新发送了

Theorem 3.2 协议效率的衡量：用 T_{frame} 表示发送方发送一个完整的帧所需要的时间，T_{prop} 表示传输到接收方需要的时间 (propagation time) 并且有如下的计算公式：

$$T_{prop} = \frac{distance}{speed}$$

$$T_{frame} = \frac{frame\_size}{bit\_rate}$$

我们令

$$\alpha = \frac{T_{prop}}{T_{frame}}$$

则链路的利用率channel utilization为：

$$U = \frac{1}{2\alpha + 1}$$

Theorem 3.3 滑动窗口协议假设有 N 个窗口，则其利用率 $U = \min(\frac{N}{2\alpha+1}, 1)$，不过仅存理论可能

Theorem 3.4 对于一般的滑动窗口协议，长发送时间，短帧和高带宽会造成非常严重的浪费，一种解决的办法是管道化传输，但是这会导致数据帧传输出现错误，因此需要一定的处理办法

3.3.4 回退 N 和选择重传协议（必考）

几种不同的重新发送方式

- 回退 N(Go-Back-N)：出现错误之后就丢弃之后所有的帧，等待重新发送
  也叫Protocol 5
  ★ 适用于接收窗口大小为 1 的情形　　对于m bit header, N=2^m-1
  ★ 假设存在 0-MAX_SEQ 这样 MAX_SEQ+1 个序列号，可以发送的帧最多为 MAX_SEQ 个
  ★ 一般可以发送的序列号的个数可以由 bit 数来确定，必须要留至少一个 bit 用来收 ACK
- 选择重传 (Slective Repeat)：出错的时候先缓存后面的没有出错的帧，结束之后只需要重新发送对应出错帧即可　　也叫Protocol 6　　对于m bit header, N=2^(m-1)
  ★ 为了保证没有需要冲突，窗口的最大尺寸不应该超过 (MAX_SEQ+1)/2
  ★ 相比回退 N 需要更大的缓冲区

3.4 数据链路层协议

3.4.1 点对点协议 PPP

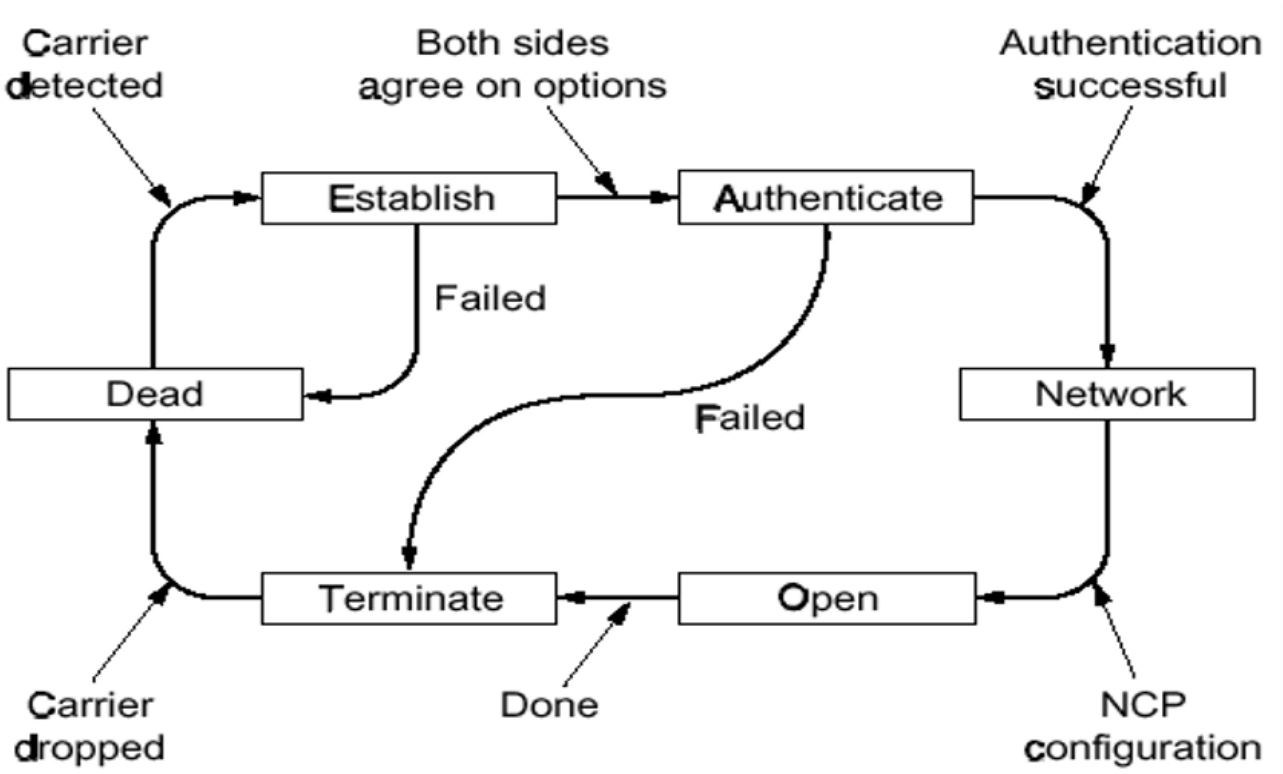
PPP 协议用于在链路中发送数据包，包含光纤链路和 ADSL，是早期协议 SLIP(串行线路 Internet 协议) 的改进，PPP 协议提供了以下的功能：

- 一种成帧的方法，可以准确地区分出一帧的结束和下一帧的开始
- 链路控制协议 LCP，可以用于启动线路、测试线路，当不再需要线路的时候关闭线路
- 网络控制协议 NCP，是一种协商网络层选项的方式，针对每一种支持的网络层都有一个不同的 NCP
- 需要提供身份验证，可以动态分配 IP 地址

例题： What is the minimum overhead to send an IP packet using PPP? Count only the overhead introduced by PPP itself, not the IP header overhead.

$$2(FLAG) + 1(\text{Protocol}) + 2(\text{Checksum}) = 5 \text{ bytes}$$

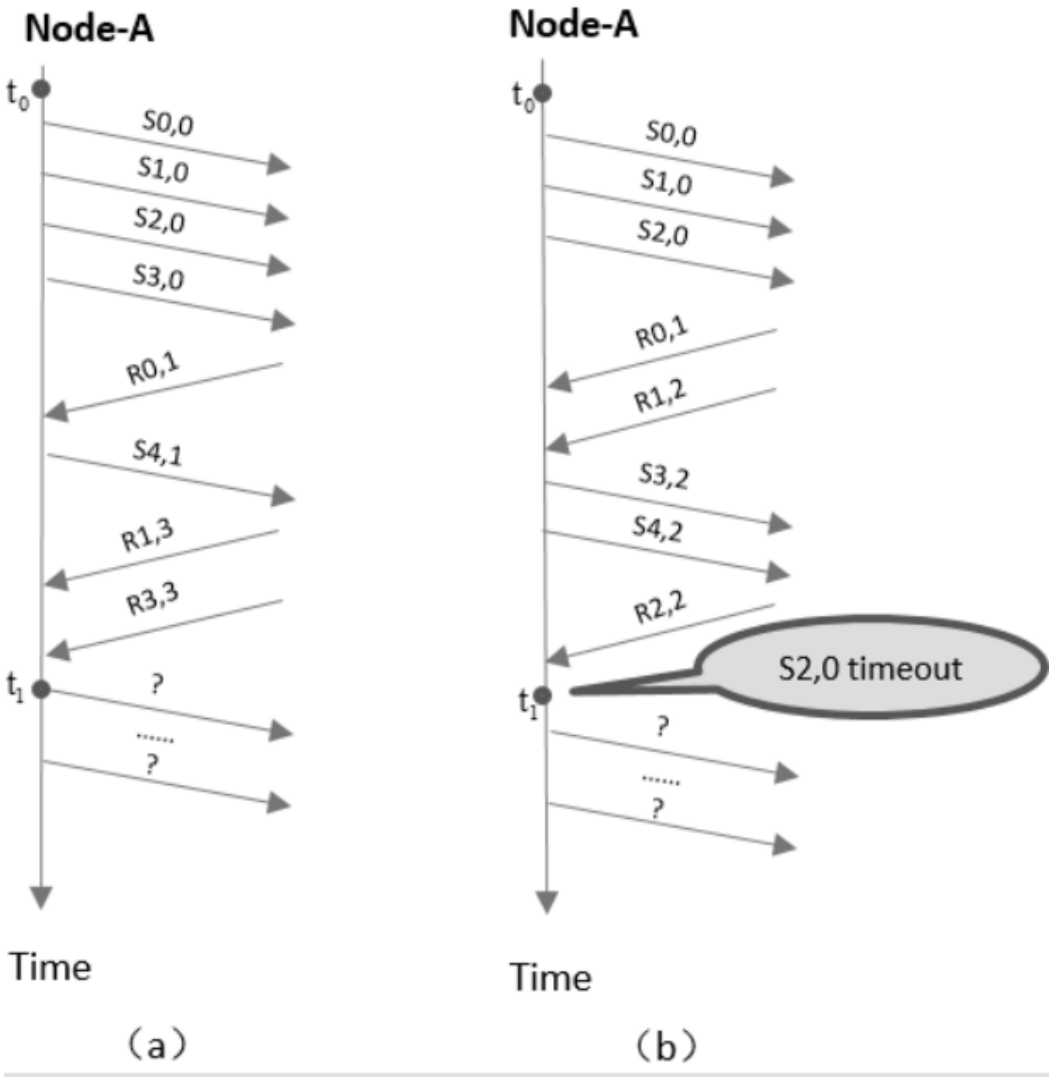
PPP 协议的状态图：



3.4.2 HDLC 协议

HDLC 的全称是高级数据链路控制协议，和 PPP 的主要区别在于 PPP 面向字节而 HDLC 面向比特，**PPP 使用的是字节填充技术而 HDLC 使用的是比特填充**

链路层滑动窗口协议大题



这类题目似乎经常作为大题出现，这里发送的帧有两个参数 x 和 y，其中 x 表示发送的序号，而 **y 是确认的序号 (表明希望接受的对方的下一帧的序号)**，下面来具体分析一下这幅图。

在图 a 中，我们发现，A 一开始连续发出去了 4 帧之后受到了第一个回应 R(0,1)，这个回应被认为是有效的，因此后面 A 发出的帧的确认号就变成了 1，而 R(0,1) 表明 0 号帧被 B 成功接收，接着发出去了一个 S(4,1)，收到了 R(1,3) 和 R(3,3) 表明 B 下一个希望接受的是 A 发出的 3 号帧，因此可以断定，在 t1 的时刻，A 发出的前三个帧已经被成功接收。而题目中序列号有 3bits，因此发送窗口最大为 7，而此时 A 已经发出去了 S(3.0) 和 S(4,1)，因此最多还能再发送 5 个帧，因为已经收到了 R1，所以下一个希望收到 2，因此在收到 B 的新帧之前，A 发出的第一个帧应该是 S(5,2)，而最后一个发送出去的数据帧是 S(1,2)，因为要发 5 个帧，只有三位序号，567 之后就是 01，所以最后一个帧的序号是 1

而在图 b 中，同样可以判断 t1 时刻，A 已经成功被 B 接收的帧是前两个 (0,0)(1,0)，而因为收到了R(2,2) 表明 B 还在等 A 发出的 2 号帧，因此发出的 234 号帧都需要重新发送，而因为已经收到了 R(2,2)，因此确认号是 3，大概就是这样。

数据链路层里的ackn代表的是已经接收到的序号，如果收到的是2，那么代表2和之前的都好了，期待收到3

而传输层里的ackn代表的是期待收到的下一个

seq都代表自己这次发送的是什么

7. Node A and node B use the Go-Back-N protocol (3-bit sequence, sending window size=6) for half-duplex frame transmission in data link layer, A sends frame A1,A2,A3,A4,A5 to B, and B sends frame B1,B2 to A, these 7 frames are transmitted in the order of A1,A2,B1,A3,A4,A5,B2, only after all bits of a frame has been sent out, next frame begins to send. In following tables, seq is sequence number of the frame, and ack is the acknowledgement number of the frame. The following table-A and table-B are 2 different cases: no time-out occurs in Table-A, but a time-out occurs in table-B, please fill number in each blank of seq column and ack column, you need not to fill cells marked "not fill" .

Table-A

frame	Direction	Seq	ack	comment
A1	A --→ B	5	3	Arrival
A2	A --→ B	6	3	Arrival
B1	A ←-- B	4	6	Arrival
A3	A --→ B	7	4	Arrival
A4	A --→ B	0	4	Arrival
A5	A --→ B	1	4	Arrival
B2	A ←-- B	5	1	Arrival

Table-B

frame	Direction	Seq	ack	comment
A1	A --→ B	5	3	Arrival
A2	A --→ B	6	3	Get lost
B1	A ←-- B	4	5	Arrival
After timeout of A2				
retransmitted A2		6	4	Arrival
A3	A --→ B	7	4	Arrival
A4	A --→ B	0	4	Arrival
A5	A --→ B	1	4	Arrival
B2	A ←-- B	5	1	Arrival

第4章　网络层补充

网络层提供如下服务：

- 无连接的服务：
  - ★ 每个数据包独立路由，不需要任何预先的设置
  - ★ 此时的数据包通常也称为数据报 (datagram)，对应的网络称为数据报网络
  - ★ 每个路由器中都有一个内部表，指明了针对每个可能的目标地址应该将该数据包送到哪里去
- 面向连接的服务：
  - ★ 在发送数据包之前先建立起一条虚电路，对应的网络称为虚拟点电网络
  - ★ 一个例子是多协议标签交换 MPLS

5.2.3　距离矢量路由算法 Distance Vector Routing

距离矢量算法中，每个路由器维护一张表，表中列出了当前已知的到每个目标的最佳距离和所使用的链路，通过邻居之间相互交换信息而不断被更新，最终每个路由器都可以了解到到达目标的最佳链路。

路由表以网络中的每个路由器作为索引，并且每个路由器作为表中的一项，该表包含**到达目标路由器的首选路线和距离的估计值**，每个路由器收到了相邻的路由器发来的矢量之后就会更新自己的路由表。

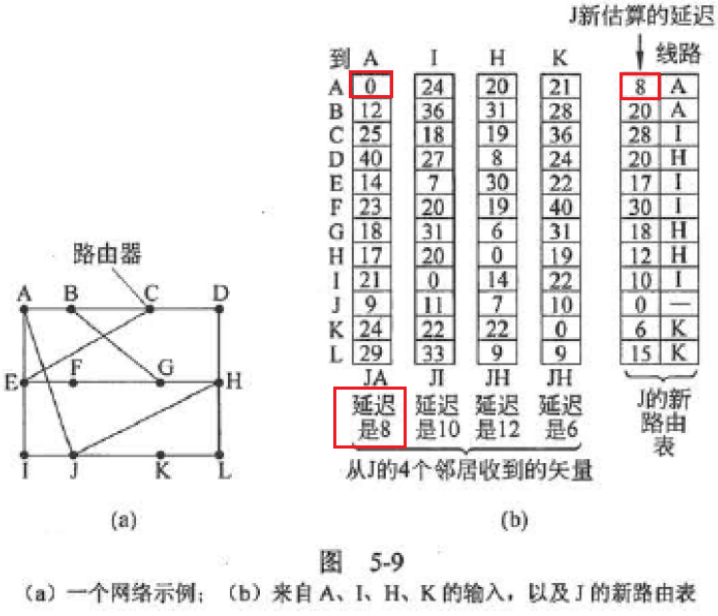


图　5-9

(a) 一个网络示例；(b) 来自 A、I、H、K 的输入，以及 J 的新路由表

整个网络最佳路径的寻找过程称为收敛，距离矢量算法可以收敛到一条最短的路径，但缺点是速度非常慢。距离矢量算法对好的结果反应特别迅速，对坏消息的反应非常迟钝。

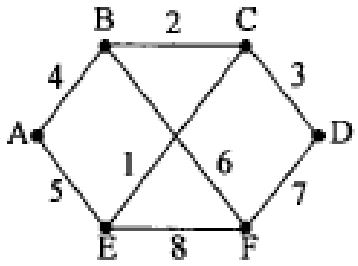
Definition 5.3 某些情况下会因为路由表的互相更新导致了路由表的计算出现无限循环的情况，这就是无穷计数问题。可以用逆毒传染（*Poisoned Reverse*）方法解决

Definition 5.4 逆毒传染：在基于路由信息协议的网络中，当一条路径信息无效之后，路由器并不马上从路由表中将其删除，而是用无穷大作为其路径长度并将信息广播出去，但是该方法不能完全解决无穷计数问题。

5.2.4 链路状态路由算法 Link State Routing

该算法需要每个路由器需要完成如下五个步骤：

- 发现邻居节点，并了解其网络地址
- 设置邻居节点的距离或者成本度量值
- 构造一个包含刚才所得信息的**链路信息包**
- 将包发送给所有的路由器，并接受来自所有其他路由器的信息包
- 计算出到达每个路由器的最短路径



(a)

链路状态包

A	
序号	
年龄	
B	4
E	5

B	
序号	
年龄	
A	4
C	2
F	6

C	
序号	
年龄	
B	2
D	3
E	1

D	
序号	
年龄	
C	3
F	7

E	
序号	
年龄	
A	5
C	1
F	8

F	
序号	
年龄	
B	6
D	7
E	8

(b)

图 5-12

（a）一个网络示例；（b）该网络的链路状态包

5.4 IP 协议

为了连接不同的网络，经常需要用到一些中间设备：

- 物理层：转发器 Repeater
- 数据链路层：网桥 Bridge，也叫桥接器
- 网络层：路由 Router
- 网络层以上使用的中间设备是网关 (Gateway), 可以用来连接两个不兼容的系　　但是需要在高层进行协议的转换

实验补充： 抓包实验

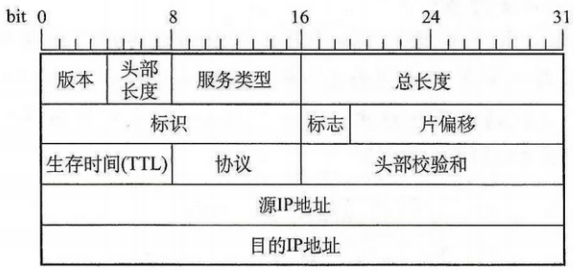


图 1 IP 分组头结构

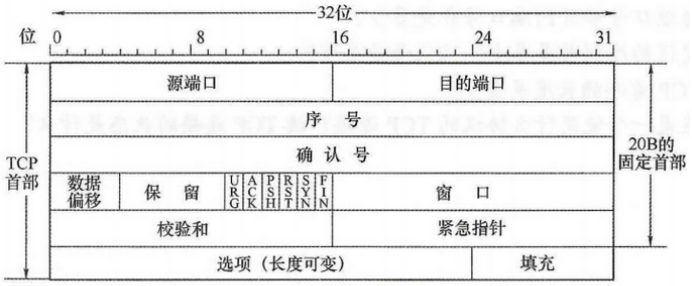
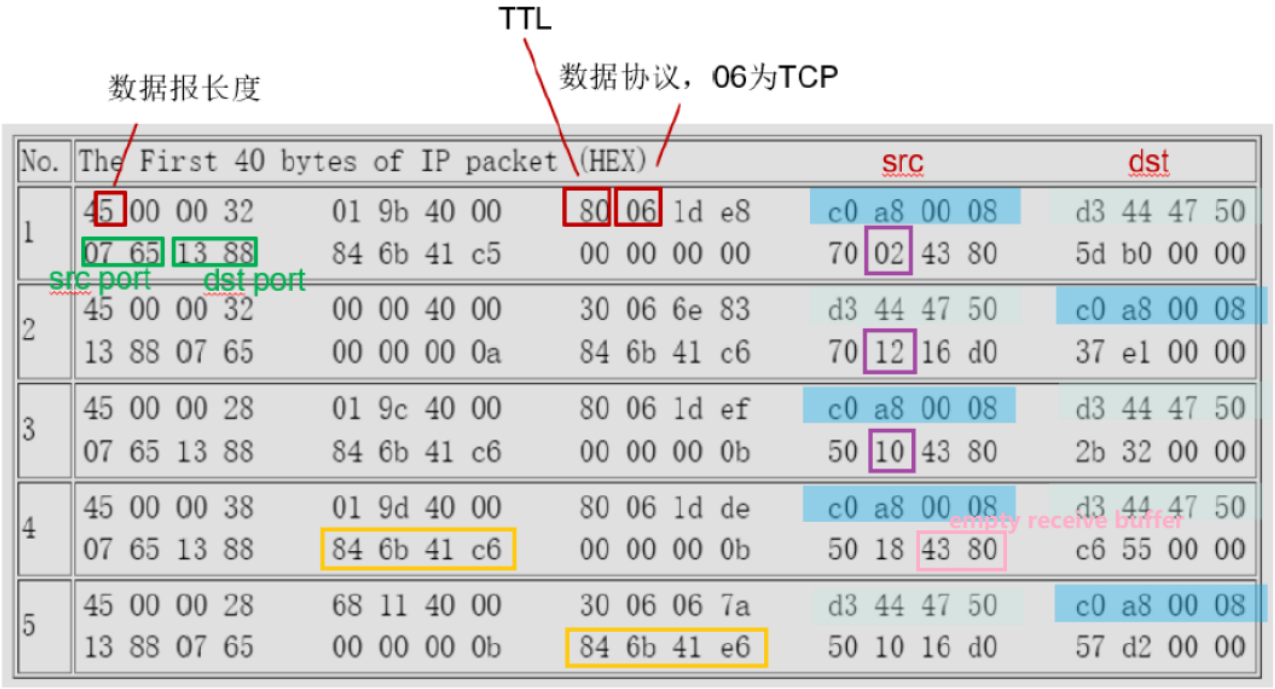


图 2 TCP 段头结构



TCP的建立：TCP的建立需要三次握手，所以要找满足【（1）SYN=1;（2）SYN=ACK=1（3）ACK=1的报文段（可以看成找02，12，10），另外第一个和第三个的序号要紧挨着（注意第一个分组的序号为84 6b 41 c5，第三个分组的序号为84 6b 41 c6，两者相差1）

通过以太网传输时需要填充：因为【快速以太网数据帧的data最小长度为46B，即IP分组（data+IP首部的总和min=46B）即**小于46B的需要“填补”**】，根据IP分组的第一行“总长度”字段（分组中的第二字节），从上往下的分组为00 32H、00 32H、00 28H、00 38H、00 28H，第1、2、4个分组大小分别为50B、50B、52B（均大于最小帧长46B），其中第3、5分组28H表明分组大小为40B【一种8片首饰，牢记】——指分片的数据长度必须是8B的整数倍。

dst已经收到多少字节的数据：通过序号来判断收到了多少，dst**确认号-src确认号=已经确认收到的字节数**。由于三次握手的“第三次”就可以开始发送数据了，第三个分组中的初始序号为 84 6b 41 c6，而第五个分组的确认号为84 6b 41 e6，两个作差得到20H，即32B (或者问题换为问通过5看4接受了多少数据，答案仍然如上，图中黄框)

若表1中的某个IP分组在S发出时的前40B如表二所示，则该IP分组到达H时经过了多少个路由器？

表 2

来自 S 的分组	45 00 00 28	68 11 40 00	40 06 ec ad	d3 44 47 50	ca 76 01 06
	13 88 a1 08	e0 59 9f f0	84 6b 41 d6	50 10 16 d0	b7 d6 00 00

经过多少个路由器是要看TTL的。由于S发出的IP分组的标识为6811H，所以表2中的分组和表一中的第5个分组是“同一数据报”，S发出的IP分组的TTL=40H，而表1的第5个IP分组的TTL是31H，40H-30H，因此可以判断该IP分组到达H时经过了16个路由器。

base64编码是网络层中的一种传输编码，其转换过程如下（过程不需要掌握）：

（1）hello查ASCII表可以得到分别为0110 1000　0110 0101　0110 1100　0110 1100　0110 1111直接连接为二进制

（2）对上面从左到右，按每6位一组，进行分组，如果末尾不足6位，则自动以0补齐，得到：

011010　000110　010101　101100　011011　000110　111100

（3）对上面每个6位组前补齐00变为8位，得到如下：

00011010　00000110　00010101　00101100　00011011　00000110　00111100

（4）得到十进制为26　6　21　44　27　6　60，然后查表编码

A binary file is 3072 bytes long. How long will it be if encoded using base64 encoding, with a CR+LF pair inserted after every 80 bytes sent **and** at the end?

$$(3072 \times 8) \div 24 \times 32 \div 8 = 4096\ bytes$$
$$4096 \div 80 = 51.2 = 51\ bytes$$
$$4096 + \big(51 + 1(end)\big) \times 2 = 4200\ bytes$$

第8章　网络安全补充

就考2-3分

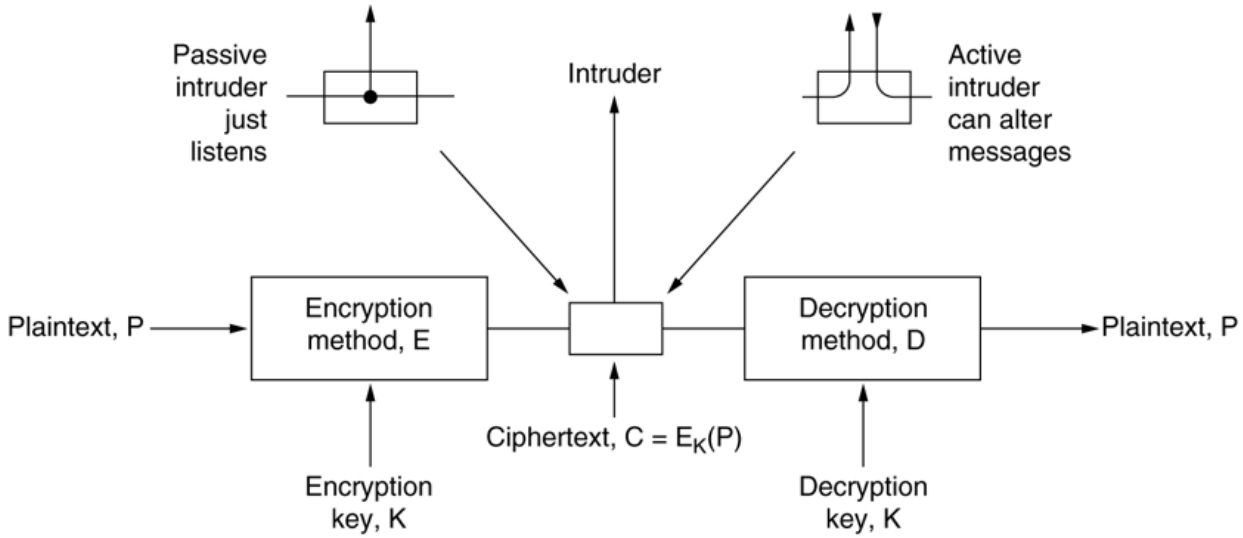
8.1　密码学相关知识

8.1.1　加密算法

古典密码学的加密算法主要有置换密码和替代密码，置换密码将每个或者每组字母用另一个或者另一组字母来代替，最古老的密码之一就是凯撒密码，采用了单个字母的置换。替代密码将明文重新排序，需要密钥进行解密

8.1.2　加密模型

任何加密模型的安全性都取决于密钥的长度以及攻破密码所需要的计算量，加密模型可以用下面的图来表示：



8.1.3　两个密码学基本原则

- 原则 1：被加密后的信息一定包含了冗余信息
- 原则 2：需要采取方法来对抗重放攻击

8.1.4　两类密码体制

密码体制主要分为对称密钥体制和公钥密码体制，对称密钥使用相同的加密密钥和解密密钥，而公钥密码使用不同的加密密钥和解密密钥，分别叫**公钥**和**私钥**，常见的加密算法有：

- DES(数据加密标准) 是对称加密，是一种分组密码，由 IBM 公司研制，有安全性更强的三重 DES

- AES(高级加密标准) 是对称加密，由 Jaon Daemen 和 Vincent Rijmen 提出
- RSA 公钥密码，以 Galois 的域理论为基础（不可攻破，是非对称的）。DES 和 AES 都是块密码，因为是以一定大小的块作为单位来加密的。而公开密钥算法都是不能被选择明文攻击破解的。

使用公钥加密的公钥应该是**接受方的公钥， 解密用接收方的私钥**

8.1.5 密码攻击

De inition 8.1 重放攻击（*replay-attack/reflection-attack*）：直接截取密码报文，不需要进行破译，而是伪装成发送方(挑战authentication)发给接受方，然后获取其回复消息，这种攻击方式可以使用不重数（*nonce*）来化解。

De inition 8 .2 中间人攻击（*man-in-the-middle*）：中间人把不重数用自己的私钥加密之后，分别向发送方和接受方发送获取密钥的请求，然后获得其密钥破译密码。

8.1.6 密码散列函数

散列函数也叫做哈希函数 (hash function)，具有单向加密的特点，输入长度不固定但是输出的长度是固定的，要找到两个输出的报文在计算上是不可行的，常见的密码散列函数有：

- MD5：报文摘要算法，算法需要将报文按照规则填充成 512 的倍数，然后每个 512 位的块分成 128 位的块，128 位的再分成 32 的小块进行 hash
- SHA 是美国 NIST 机构提出的散列算法，但是码长是 160 位，比 MD5 更安全

8.1.7 密钥分配

由于密码算法是公开的，网络的安全性就完全基于密钥的保护，不同的密码体系的分配方式不同，对于对称密钥：

- 设立密钥分配中心 (KDC,Key Distribution Center)，常用的密钥分配协议是 Kerberos V5，使用界别服务器 AS 和证书授予服务器 TGS
- 证书具有一定的有效期，过期就会失效，不能被用于多次重放攻击

而对于公钥的分配，可以使用认证中心 (CA) 把公钥和对应的实体进行绑定(CA的公钥可以用来验证网站证书)，ITU-T 制定了 X.509 标准，并在 RFC5280 中给出了**互联网公钥基础设施 PKI**，

8.2 互联网安全协议

8.2.1 IPsec 协议族

IPsec 是可以在 IP 层提供互联网通信安全的协议族，分为三个部分：

- IP 安全数据报格式的两个协议：鉴别首部协议 AHP 和封装安全有效载荷协议 ESPP

- 有关加密算法的三个协议
- 互联网密钥交换协议 IKEP

IP 安全数据报有两种不同的方式，分别是运输方式和隧道方式。运输方式是在运输层的报文段的前后分别添加若干控制信息再加上 IP 头部，隧道在原始的 IP 数据报的前后添加控制信息，再加上新的 IP 首部构成一个 IP 安全数据报。

安全关联 SA 是发送 IP 安全数据报之前在源实体和目的实体之间创建一条网络层的逻辑连接，**将无连接的网络层变成了具有逻辑连接的网络层**，并且这种链接是一个单向连接。

8.2.2 安全套接字层 SSL

是 Netscape 提出的，运输层的安全协议，作用在 HTTP 和运输层之间，在 TCP 之上建立一个安全通道，可以提供如下服务：

- SSL 服务器鉴别，允许用户证实服务器的身份
- SSL 客户鉴别，允许服务器证实客服身份
- 加密 SSL 会话，对客户和服务器之间的报文进行加密，并且检测报文是否被篡改

工作过程：协商加密算法、服务器鉴别、会话密钥计算、安全数据传输。HTTPS 是提供安全服务的 HTTP 协议，调用 SSL 对整个网页进行加密。运输层安全协议 TLSP 是基于 SSL 的标准化协议，原本还有安全电子交易协议 SET 但是已经被淘汰了。

8.2.3 应用层安全协议

PGP 是 Zimmerman 于 1995 年开发的电子邮件的标准，用于保护邮件的隐私，

8.3 防火墙和入侵检测

8.3.1 防火墙 Firewall

防火墙是一种访问控制技术，是一种特殊的路由器，可以禁止任何不必要的通信，可以实施一定的访问控制策略，防火墙内的是可信的网络，而防火墙外是不可信的网络，实现防火墙的主要技术有：

- 分组过滤路由器：按照一定的规则进行分组过滤，对进出内部网络的分组执行转发或者丢弃
- 代理服务器：在应用层通信中起到报文中继的作用，一种网络应用需要一个应用网关，所有的进出网络的应用程序都必须通过应用网关

真正的防火墙一半两种技术混合使用。

8.3.2 入侵检测系统 IDS

对网络的分组执行深度分组检查，当观察奥可以分组的时候就向网络管理员发出警报，可以检测多种网络攻击，比如网络映射、端口扫描、DoS 攻击 (拒绝服务攻击，DDoS 是分布式的拒绝服务攻击)、蠕虫和病毒、系统修改、漏洞攻击等等。一般入侵检测可以分为基于特征的入侵检测和基于异常的入侵检测。