

计算机网络原理习题课（书面作业）

陈晟祺、张行健、包涵、谭闻德、雷怡然

2021/12/19

作业二 1.1

1. 假设你已经将你的狗 Bernie 训练成不仅可以携带一小瓶白兰地，还能携带一箱 3 盒 8 毫米的磁带（当你的磁盘满了的时候，你可能会认为这是一次紧急事件）。每盒磁带的容量为 7 GB 字节。无论你在哪里，狗跑向你的速度是 18 千米/小时。试问在什么距离范围内 Bernie 的数据传输速率会超过一条数据速率为 150 Mbps 的传输线（不算额外开销）？试问分别在以下情况下：（1）狗的速度加倍；（2）每盒磁带容量加倍；（3）传输线路的速率加倍。上述结果有什么变化？

阈值： $3 \times 7 \times (18 \times 1000 / 3600) / (150 / 8 \times 1000^2) \times 1024^3 = 6013 \text{ (m)}$

$6013 \times 2 = 12026 \text{ (m)}$

$6013 \times 2 = 12026 \text{ (m)}$

$6013 / 2 = 3006 \text{ (m)}$

作业二 1.3

3. 客户机-服务器系统的性能受到两个网络因素的严重影响：网络的带宽（即，网络每秒可以传输多少位数据）和延迟（即，将第一个数据位从客户端传送到服务器端需要多少时间）。请给出一个网络例子，它具有高带宽，但也有高延迟。然后再给出另一个网络例子，它具有低带宽和低延迟。

高带宽高延迟的例子：中国和美国之间的海底光缆，尽管带宽可达到数十 Gbps 至数十 T bps，但受限于光速，上百毫秒的延迟还是无法避免的

低带宽低延迟的例子：从东主楼通过拨号上网连接到FIT楼，尽管带宽只有 56Kbps，但只需要通过中国联通设在清华的电话局中转一次，物理上的距离短，延迟也低。或：蓝牙连接。

作业二 1.4

4. 除了带宽和延迟以外，网络若要为下列流量提供很好的服务质量，试问还需要哪个参数？（1）数字语音流量；（2）视频流量；（3）金融业务流量。

对于(1)数字语音和(2)视频，“流畅”、“不卡”是对这两项服务至关重要的，这需要网络的延迟保持稳定。延迟不一定要很低，但不能有很大波动。即延迟的平均数并不重要，但方差一定要小。否则每次延迟突然变大，都会造成卡顿的现象。

对于(3)金融业务，安全可靠是至关重要的，这需要相应的网络流量不会被轻易截获、篡改、干扰。

作业二 1.9

9. 广播式子网的一个缺点是当多台主机同时企图访问信道时会造成容量浪费。作为一个简单的例子，假设时间被分成了离散的时间槽，共有 n 台主机；在每个时间槽内，每台主机企图访问信道的概率为 p 。试问由于冲突而被浪费的时间槽比例是多少？

由于冲突被浪费的时间槽所占的比例，等于同一时间有两台或更多台主机试图访问信道的概率，也就是 $1 - (1 - p)^n - n \times p \times (1 - p)^{n-1}$

作业二 1.10

10. 试问使用层次协议的两个理由是什么？使用层次协议的一个可能缺点是什么？

使用层次协议和模块化编程有相似的特点，理由包括：

(1) 分层让网络协议的设计变得更简单，使得每一层都不至于复杂到无法设计/实现，把网络协议的设计分解成了更多更容易完成、更不易出差错的小任务

(2) 分层也使得对网络协议可以进行局部的修改，只要一个层能保持其和上下层之间的接口不变，就可以把变化控制在一层之内，而不必推翻整个网络体系。

而问题也和模块化编程的问题相似：为了保证各层能协同工作，整体的性能(时间/空间复杂度)上需要做些妥协，例如各层的协议头会带来额外的空间复杂度。

(言之有理即可)

作业二 1.11

11. Specialty Paint 公司的总裁打算与一个本地的啤酒酿造商合作生产一种无形啤酒罐（作为防止乱扔垃圾的一种措施）。总裁告诉她的法律部门调研此事，后者又请工程部帮忙。结果总工程师打电话给啤酒酿造公司讨论该项目的技术问题。然后两位工程师又各自向他们的法律部门作了汇报。然后，法律部门通过电话安排了有关的法律方面的事宜。最后，两位公司总裁讨论了这次合作在经济方面的问题。试问这个通信机制违反了 OSI 模型意义上的哪个多层协议原则？

在OSI模型中高层不能直接对话，高层如果需要通信只能通过底层“带话”，只有最底层才能实际进行通信。这个例子里两个公司的总裁和法律部门之间直接通话即违背了这个原则。

作业二 1.12

12. 两个网络都可以提供可靠的面向连接的服务。其中一个提供可靠的字节流，另一个提供可靠的报文流。试问这两者是否相同？如果你认为相同，为什么要有这样的区别？如果不相同，请给出一个例子说明它们如何不同。

言之有理即可：

认为相同：报文流不需要接收方切割，发送方发出两个 **64KB** 的包，接收方一定会收到两个 **64KB** 的包。字节流需要接收方按照某种协议格式将其切割，发送方发出两个 **64KB**，接收方有可能收到一个 **128KB** 的包。

认为不同：两者是等价的，因为两者可以互相实现，它们只是应用场景不同。

作业二 1.15

15. 在有些网络中，数据链路层处理传输错误的做法是请求发送方重传被损坏的帧。如果一帧被损坏的概率为 p ，试问发送一帧所需要的平均传输次数是多少？假设确认帧永远不会丢失。

发送一帧所需要的平均传输次数服从参数为 $1 - p$ 的几何分布，其数学期望为 $\frac{1}{1-p}$

作业二 1.20

20. 当在两台计算机之间传输一个文件时，可以采用两种不同的确认策略。在第一种策略中，该文件被分解成许多个数据包，接收方独立地确认每一个数据包，但没有对整个文件进行确认。在第二种策略中，这些数据包并没有被单独地确认，但是当整个文件到达接收方时会被确认。请讨论这两种方案。

如果丢包频繁发生，独立地确认每个数据包可以减少重传带来的损失，因为每次丢包只需重传一个数据包，而非整个文件。

如果丢包概率很低，则确认整个文件可以减少确认报文的数量，进而节省了流量。

作业二 1.33

33. ping 程序使你能够给指定的位置发送一个测试数据包，看看数据包来回需要多长时间。请试着用 ping 程序测试从你所在的位置到几个已知地点需要多长时间。利用这些数据，绘出 Internet 上的单向传输时间与距离的函数关系。最好使用大学作为目标，因为大学服务器的位置往往可以确切地知道。例如，berkeley.edu 在加州的 Berkeley；mit.edu 在麻省的 Cambridge；vu.nl 在荷兰的阿姆斯特丹；www.usyd.edu.au 在澳大利亚的悉尼；www.uct.ac.za 在南非的 Cape Town。

理论上：ping 用时和距离成正比
(使用各种复杂函数拟合没有实际意义)

实际上：

- 光缆未必走最短距离（直线）

- 路由可能绕路

- CDN 网络的影响

```
C:\Users\jinzi>nslookup vu.nl
服务器: UnKnown
Address: 2402:f000:1:801::8:28
```

```
非权威应答:
名称:     vu.nl
Addresses: 2001:4d60:12::64
           37.60.194.64
```

```
C:\Users\jinzi>tracert 37.60.194.64
```

通过最多 30 个跃点跟踪到 37.60.194.64 的路由

1	1 ms	1 ms	1 ms	59.66.16.1
2	1 ms	1 ms	1 ms	118.229.2.6
3	2 ms	1 ms	1 ms	118.229.2.77
4	1 ms	1 ms	1 ms	118.229.4.41
5	2 ms	2 ms	2 ms	202.112.38.5
6	1 ms	1 ms	1 ms	101.4.113.202
7	6 ms	5 ms	3 ms	101.4.116.86
8	9 ms	8 ms	11 ms	101.4.117.98
9	151 ms	153 ms	151 ms	101.4.117.170
10	202 ms	202 ms	202 ms	te0-15-0-7-3.ccr41.lax04.atlas.cogentco.com [38.88.196.185]
11	202 ms	202 ms	202 ms	be3271.ccr41.lax01.atlas.cogentco.com [154.54.42.101]
12	*	214 ms	213 ms	be2931.ccr31.phx01.atlas.cogentco.com [154.54.44.85]
13	222 ms	222 ms	222 ms	be2929.ccr21.elp01.atlas.cogentco.com [154.54.42.66]
14	238 ms	238 ms	237 ms	be2928.ccr42.iah01.atlas.cogentco.com [154.54.30.161]
15	252 ms	*	252 ms	be2690.ccr42.atl01.atlas.cogentco.com [154.54.28.129]
16	263 ms	263 ms	263 ms	be2113.ccr42.dca01.atlas.cogentco.com [154.54.24.221]
17	268 ms	268 ms	273 ms	be2807.ccr42.jfk02.atlas.cogentco.com [154.54.40.109]
18	348 ms	*	347 ms	be2490.ccr42.lon13.atlas.cogentco.com [154.54.42.86]
19	348 ms	405 ms	348 ms	be12488.ccr42.ams03.atlas.cogentco.com [130.117.51.42]
20	344 ms	344 ms	344 ms	be2552.agr31.ams03.atlas.cogentco.com [154.54.61.218]
21	386 ms	392 ms	396 ms	149.6.128.194
22	391 ms	363 ms	378 ms	gi2-24.sara-r9-alm.com.sara.nl [217.170.10.220]
23	366 ms	382 ms	390 ms	ael-0.vancis-asd01-r01.vancis.net [85.90.64.14]
24	348 ms	338 ms	381 ms	pol2-5.vancis-asd01-r02.vancis.net [85.90.64.21]
25	353 ms	393 ms	393 ms	isp-uplink-1458.vancis-fwc08.vancis.net [37.60.197.228]
26	397 ms	382 ms	353 ms	37.60.197.6
27	394 ms	381 ms	341 ms	37.60.194.64

跟踪完成。

101.4.117.170

查询

101.4.117.170

转换IPv6地址

IP反查网站

旁站查询

ASN归属地

北京市海淀区
赛尔网络有限公司网络运行部 教育网

LAX airport

全部 图片 地图 新闻 视频 更多

设置 工具

找到约 97,200,000 条结果 (用时 0.65 秒)

www.flylax.com 翻译此页

LAX Official Site | Welcome to Los Angeles International Airport

LAX Official Website | Live flight times and updates, arrivals and departures, news, advice, maps, traffic and parking | [Los Angeles International Airport](#).

[Travel Safely](#) · [LAX Terminal Maps](#) · [Departures](#) · [Parking at LAX](#)

en.wikipedia.org › wiki › John_F_Kennedy_... 翻译此页

John F. Kennedy International Airport - Wikipedia

John F. Kennedy International Airport (IATA: JFK, ICAO: KJFK, FAA LID: JFK) (colloquially referred to as **JFK Airport**) is an international airport in Queens, New ...

Focus city for: JetBlue; Norwegian Air Shuttle **Location:** Queens, New York, United States

Hub for: American Airlines; Delta Air Lines **Opened:** July 1, 1948; 72 years ago

[List of the busiest airports in ...](#) · [List of accidents and incidents ...](#) · [Sundrome](#)

例子：路由绕路


```
C:\Users\jinzi>nslookup mit.edu 223.5.5.5
服务器: public1.alidns.com
Address: 223.5.5.5
```

非权威应答:

```
名称:      mit.edu
Addresses:  2600:140b:4:6b3::255e
            2600:140b:4:699::255e
            23.41.83.43
```

```
C:\Users\jinzi>tracert 23.41.83.43
```

通过最多 30 个跃点跟踪

到 a23-41-83-43.deploy.static.akamaitechnologies.com [23.41.83.43] 的路由:

1	1 ms	1 ms	2 ms	59.66.16.1
2	1 ms	1 ms	1 ms	118.229.2.6
3	1 ms	1 ms	1 ms	118.229.2.77
4	1 ms	1 ms	1 ms	118.229.4.33
5	2 ms	2 ms	9 ms	qhu0.cernet.net [202.112.38.69]
6	1 ms	1 ms	1 ms	101.4.113.202
7	3 ms	5 ms	6 ms	101.4.116.86
8	11 ms	11 ms	7 ms	101.4.117.102
9	214 ms	225 ms	236 ms	101.4.117.214
10	222 ms	235 ms	245 ms	ix-xe-9-1-5-0.tcore1.lvw-losangeles.as6453.net [66.110.59.181]
11	213 ms	223 ms	*	if-ae-8-3.tcore1.svl-santaclara.as6453.net [63.243.250.58]
12	*	253 ms	*	if-ae-0-3.tcore2.svl-santaclara.as6453.net [63.243.250.61]
13	264 ms	266 ms	260 ms	if-ae-7-2.tcore1.pdi-paloalto.as6453.net [209.58.86.74]
14	242 ms	220 ms	221 ms	if-ae-2-2.tcore2.pdi-paloalto.as6453.net [66.198.127.2]
15	210 ms	214 ms	224 ms	if-ae-5-2.tcore2.sqn-sanjose.as6453.net [64.86.21.1]
16	244 ms	241 ms	252 ms	209.58.116.22
17	238 ms	205 ms	203 ms	ae-8.r25.snjsca04.us.bb.gin.ntt.net [129.250.3.162]
18	423 ms	*	425 ms	ae-21.r30.tokyjp05.jp.bb.gin.ntt.net [129.250.5.77]
19	422 ms	415 ms	387 ms	ae-2.r03.tokyjp05.jp.bb.gin.ntt.net [129.250.3.33]
20	404 ms	425 ms	493 ms	gip-c.ntt.net [61.120.144.254]
21	394 ms	410 ms	392 ms	a23-41-83-43.deploy.static.akamaitechnologies.com [23.41.83.43]

例子: CDN 网络

23.41.83.43

X

查询

23.41.83.43

rDNS: a23-41-83-43.deploy.static.akamaitechnologies.com.

转换IPv6地址

IP反查网站

旁站查询

ASN归属地

日本
东京 Akamai

作业二 2.1

1. 计算函数 $f(t)=t(0 \leq t \leq 1)$ 的傅里叶系数。

$$c = 2 \int_0^1 t \, dt = 1$$

$$a_n = 2 \int_0^1 \sin 2\pi n t \, dt = -\frac{1}{n\pi}$$

$$b_n (= 2 \int_0^1 \cos 2\pi n t \, dt) = 0$$

2M log₂N

1200000

作业二 2.3

3. 电视信道宽 6 MHz。如果 使用 4 级数字信号，试问每秒可发送多少个比特？假设电视信道为无噪声的。

根据 Nyquist 定理， $2 \times 6\text{MHz} \times \log_2 4 = 24\text{Mbps}$ ，即每秒可发送 24×10^6 比特

3kHz 26

20dB

作业二 2.4

3.692 101 20 27

4. 如果在一条 3 kHz 的信道上发送一个二进制信号，该信道的信噪比为 20 dB，试问可达到的最大数据率为多少？

根据 Shannon 定理， $3\text{kHz} \times \log_2(1 + 100) = 19.97\text{kbps}$

根据 Nyquist 定理， $2 \times 3\text{kHz} \times \log_2 2 = 6\text{kbps}$

最大数据率应取两个定理计算出的上限中的较小者，即 6kbps

1.544Mbps

50kHz

only need 93dB

作业二 2.5


5. 试问在 50 kHz 的线路上使用 T1 载波需要多大的信噪比?

T1 的传输速率为 1.544Mbps, 令 $50\text{kHz} \times \log_2(1 + S/N) > 1.544\text{Mbps}$,
得到 $\log_{10}(S/N) = 93.0\text{dB}$

作业二 2.9

9. 试问尼奎斯特定理对高质量的单模光纤成立吗？还是它只适用于铜线？

Nyquist 定理对光纤依然适用，Nyquist 定理是一个数学定理，各个参数 (H、S/N) 均与介质无关。



作业二 2.20

20. 试问石油管道是单工系统、半双工系统还是全双工系统？或者三者都不是？河流或者类似对讲机的通信是什么系统？

石油管道是半双工系统，同一时间只能向一个方向输送石油，但不同时间石油的流向可以不同。

河流是单工系统，因为河流的流向是固定的，河水不会反向流动。

对讲机是半双工系统，同一时间只能有一个人说话，但双方可以轮流说话。

作业二 2.37

37. 有三个包交换网络，每个包含 n 个节点。第一个网络采用星形拓扑结构，有一个中心交换机；第二个网络采用双向环结构；第三个网络则采用全连通结构，每个节点都有一条线路与其他的每个节点相连。试问，从传输路径的跳数来看，哪个最好？哪个其次？哪个最差？

当 n 足够大时：

全连通结构最佳，传输路径永远只需一跳；

星型拓扑结构其次，传输路径永远只需两跳；

双向环结构最差，传输路径平均需要 $n/4$ 跳，最差需要 $n/2$ 跳。

注意：实际上，需要考虑成本、设备容量等因素，通常为类树形结构。

$$\textcircled{1} s + \frac{x}{b} + dk$$

$$\textcircled{2} d + \frac{p}{b}(k-1) + \frac{x}{b}$$

作业二 2.38

38. 比较在一个电路交换网络和一个（负载较轻的）包交换网络中，沿着 k 跳路径发送一个 x 位长度消息的延迟。假设电路建立时间为 s 秒，每一跳的传播延迟为 d 秒，数据包的大小为 p 位，数据传输率为 b bps。试问在什么条件下数据包网络的延迟比较短？请解释之。

对于电路交换网络，传输该消息延迟为 $t = s + \frac{x}{b} + k \times d$ ，即用 s 秒建立电路，用 $\frac{x}{b}$ 秒发送数据，再用 $k \times d$ 秒等待数据从发送端传到接收端。

对于报文交换网络，传输该消息延迟为 $t = \frac{x}{b} + (k-1) \times \frac{p}{b} + k \times d$ ，即 $\frac{x}{b}$ 秒后发送端发出了最后一个数据包，每个包用 $(k-1) \times \frac{p}{b}$ 秒在中间节点处中转，每个包再用 $k \times d$ 秒在线路上传输。

因此，当 $(k-1) \times \frac{p}{b} < s$ 时，数据包网络的延迟比较短。

作业二 2.39

39. 假定在一个包交换网络中用户数据长度为 x 位, 将以一系列数据包的形式沿着一条 k 跳路径传输, 每个数据包包含 p 位数据和 h 位头, 这里 $x \gg p + h$ 。线路的比特率为 b bps, 传播延迟忽略不计。试问什么样的 p 值使得总延迟最小?

利用 2.38 对于报文交换网络的结论, 总延迟

$$t = \frac{p + h}{p} \times \frac{x}{b} + (k - 1) \times \frac{p + h}{b}$$

, 若要使 t 最小, 则需使 $h \times \frac{x}{p} + (k - 1) \times p$ 最小, 则

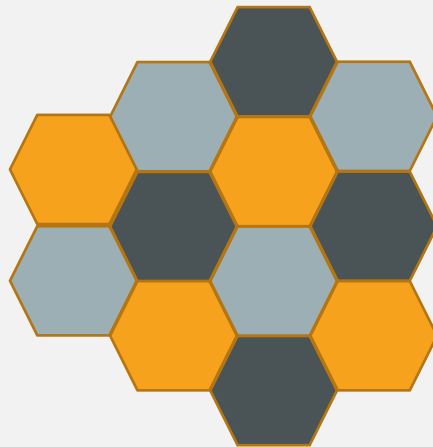
$$p = \sqrt{\frac{h \times x}{k - 1}}$$

作业二 2.40

40. 在一个六角形蜂窝的典型移动电话系统中，不允许相邻蜂窝重复使用频段。如果总共有 840 个频率可用，试问对于一个给定的蜂窝最多可以使用多少个频率？

一个给定的蜂窝最多可以使用 **280** 个频率：

这是一个图的着色问题。如果一个蜂窝着色为 A，则与其相邻的 6 个蜂窝可依次着色为 B, C, B, C, B, C；一个蜂窝着色为 B，则与其相邻的 6 个蜂窝可依次着色为 A, C, A, C, A, C；一个蜂窝着色为 C，则与其相邻的 6 个蜂窝可依次着色为 A, B, A, B, A, B。递归地进行如上操作，用三种颜色可以覆盖整个图。



作业二 2.48

48. 在低端，电话系统呈星型结构，邻近范围内的所有本地回路都集中到端局。相反，有线电视网的低端则使用一条长电缆蜿蜒穿过邻近范围内的所有住户。假设未来的有线电视电缆是 10 Gbps 的光纤，而不再是铜线。试问，它可以模拟电话模型，即每个住户都有自己的专用线路连接到端局吗？如果可以的话，试问一根光纤上可以挂接多少个只有一部电话的住户？

可以用时分复用的方法模拟出每个住户拥有自己的专用线路的效果。一部采用 PCM 的电话所需的数据率为 64 kbps，一条 10 Gbps 的光纤可以挂载 $10 \text{ Gbps} / 64 \text{ kbps} = 156250$ 部电话。

作业三 3.1

1. 一个上层数据包被分成 10 个帧，每一帧有 80% 的机会无损地到达目的地。如果数据链路协议没有提供错误控制，试问，该报文平均需要发送多少次才能完整地到达接收方？

每一帧发送成功的概率为 80%，一个数据包共 10 帧，则 10 帧全部发送成功的概率为 $0.8^{10} = 0.1073741824$ 。平均需要发送的次数满足参数为 0.8^{10} 的几何分布，其期望为 $1/0.8^{10} = 9.31$ 次，即平均需要发送 9.31 次。

作业三 3.2

2. 数据链路协议使用了下面的字符编码：

A: 01000111; B: 11100011; FLAG: 01111110; ESC: 11100000

为了传输一个包含 4 个字符的帧：A B ESC FLAG，试问使用下面的成帧方法时所发送的比特序列（用二进制表达）是什么？

- (a) 字节计数。
- (b) 字节填充的标志字节。
- (c) 比特填充的首尾标志字节。

(a) 0000101 01000111 11100011 11100000 01111110

(b) 01111110 01000111 11100011 11100000 11100000 11100000
01111110 01111110

(c) 01111110 01000111 110100011 111000000 011111010 01111110

作业三 3.9

9. 假设使用海明码来传输 16 位的报文。试问，需要多少个校验位才能确保接收方能同时检测并纠正单个比特错误？对于报文 1101001100110101，试给出传输的比特模式。假设在海明码中使用了偶校验。

需要 5 个校验位（分别在第 1、2、4、8、16 位）

011110110011001110101

作业三 3.11

11. 检测错误的一种方法是按 n 行、每行 k 位来传输数据，并且在每行和每列加上奇偶位。其中最右下角是一个校验其所在行和列的奇偶位。试问这种方案能检测出所有的 1 位错吗？2 位错误呢？3 位错误呢？请说明这种方案无法检测出某些 4 位错误。

1位错误可以检测

2位错误可以检测

3位错误不一定能检测（如果某个数据位和它对应的行、列校验位都错了，那么右下角的奇偶校验位也失效了）*

4位错误不一定能检测

* 另一种理解：最右下角既是“所有行校验位的校验位”，又是“所有列校验位的校验位”（因为这两者一定是相等的），按照这种理解，上述这种错误会导致右下角校验位反转，仍然可以检测。

作业三3.20

20. 考虑一个具有 4 kbps 速率和 20 毫秒传输延迟的信道。试问帧的大小在什么范围内，停-等式协议才能获得至少 50% 的效率？

若要达到 50% 的效率，也就是实际传输速率达到 2 kbps，考虑发送一个大小为 x KB 的帧所需的时间 $t = x \text{ KB} / (0.5 \text{ KB/s}) + 20\text{ms} + 20\text{ms}$ 。如果要使传输速率达到 2 kbps，则 $t < x \text{ KB} / (0.25 \text{ KB/s})$ 。化简得 $2x + 0.04 < 4x$ ，解得 $x > 0.02$ 。也就是说，一个帧至少需要 20 字节（160 比特）的大小，才能使传输效率达到 50%。



作业三 3.21

21. 在协议 3 中，当发送方的计时器已经在运行时，它还有可能启动该计时器吗？如果可能，试问这种情况是如何发生的？如果不可能，试问为什么不可能？

在一个计时器已经在运行时再次启动该计时器是有可能发生的。
如果发送方发送当前帧之后，在等待当前帧的 ACK 时，收到了一个错误的 ACK，则计时器会重启，发送序列号不变，当前发送的帧会被再次发送。

类似说法：收到了前一帧的 ACK（窗口大小只有 2）

错误说法：收到帧太快，还没超时就进入了下一个循环

作业三 3.22

22. 使用协议 5 在一条 3000 千米长的 T1 中继线上传输 64 字节的帧。如果信号的传播速度为 6 微秒/千米，试问序号应该有多少位？

T1 的传输速率为 1.544 Mbps，从发送方开始发送一个帧开始，到发送方收到这个帧的 ACK 为止，用时为 $(64 * 8) \text{ bit} + 3000 \text{ km} * 6 \mu\text{s}/\text{km} * 2$ 。
 $1.544 \text{ Mbps} = 56096 \text{ bit}$ 。在这段时间里，有 $56096 / 512 = 110$ 个帧已经“在路上”了（即已发出但尚未收到 ACK）。为了使这 110 个帧的序号各不相同，至少需要 7 位的序号。

作业三 3.32

32. 利用地球同步卫星在一个 1 Mbps 的信道上发送长度为 1000 位的帧，该信道的传播延迟为 270 毫秒。确认总是被捎带在数据帧中。帧头非常短，序号使用了 3 位。试问，在下面的协议中，可获得的最大信道利用率是多少？

- (a) 停等式？
- (b) 协议 5？
- (c) 协议 6？

0 ~ 7

(a) 对于停等式协议，发送相邻的两个帧至少需要间隔 $(1000 \text{ bit} / 1 \text{ Mbps}) + 270 \text{ ms} + (1000 \text{ bit} / 1 \text{ Mbps}) + 270 \text{ ms} = 542 \text{ ms}$ 。也就是说，每 542ms 发送 1000bit，等价于 $1 \text{ kb} / 0.542 \text{ s} = 1.845 \text{ kbps}$ 。 $1.845 \text{ kbps} / 1 \text{ Mbps} = 0.18\%$ ，信道利用率即为 0.18%。

作业三 3.32

32. 利用地球同步卫星在一个 1 Mbps 的信道上发送长度为 1000 位的帧，该信道的传播延迟为 270 毫秒。确认总是被捎带在数据帧中。帧头非常短，序号使用了 3 位。试问，在下面的协议中，可获得的最大信道利用率是多少？

- (a) 停等式？
- (b) 协议 5？
- (c) 协议 6？

(b) 对于协议 5（退后 N 帧），如果序号使用 3 位，则最多同时可以有 7 个帧“在路上”，以 7 个帧为一批进行发送，从一批开始发送，到下一批开始发送，需要的时间为 $(1003 \text{ bit} / 1 \text{ Mbps}) + 270\text{ms} + (1003 \text{ bit} / 1 \text{ Mbps}) + 270\text{ms} = 542\text{ms}$ 。也就是说，每 542ms 发送 7000bit 等价于 $7\text{kb} / 0.542\text{s} = 12.91 \text{ kbps}$ 。 $12.91 \text{ kbps} / 1 \text{ Mbps} = 1.29\%$ ，信道利用率即为 1.29%。

(c) 对于协议 6（选择重传），如果序号使用 3 位，则最多同时可以有 4 个帧“在路上”，和 b 类似，可以得到信道利用率为 $4\text{kb} / 0.542\text{s} / 1\text{Mbps} = 0.74\%$

作业四 4.2

2. N 个站共享一个 56 kbps 的纯 ALOHA 信道。每个站平均每 100 秒输出一个 1000 位长的帧，即使前面的帧还没有被发送出去（比如，站可以将出境帧缓存起来）。试问 N 的最大值是多少？

ALOHA 的效率是 0.184 （4.2.1 节）

可用带宽: $56 \times 0.184 = 10.3 \text{ kbps}$

每个节点需要的带宽: $1000 \div 100 = 10 \text{ bps}$

最大节点数: $10.3 \text{ kbps} \div 10 \text{ bps} = 1030$

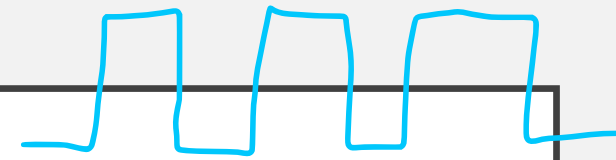
作业四 4.13

13. 试问经典 10 Mbps 以太网的波特率是多少？

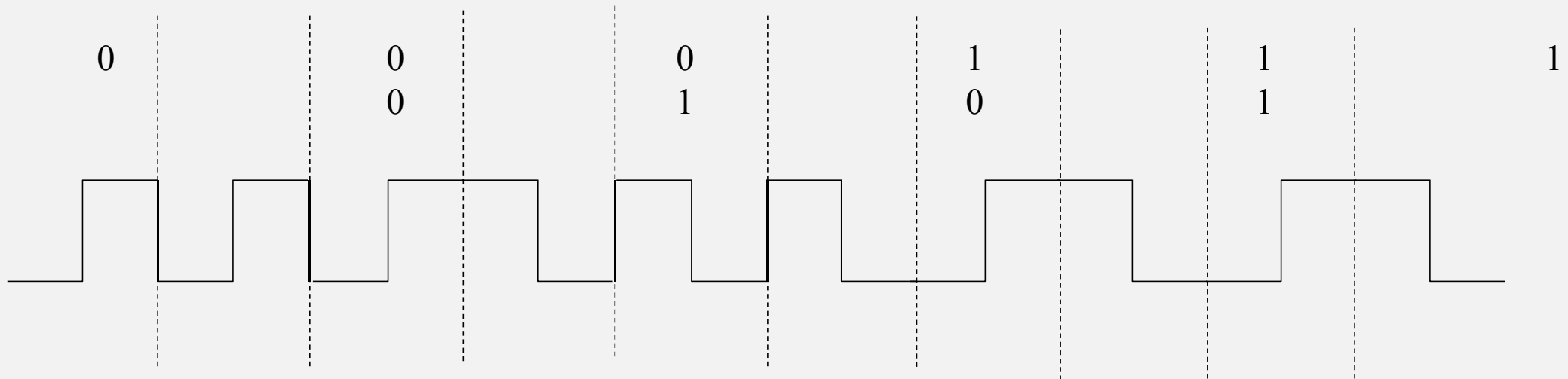
以太网使用曼彻斯特编码：0 – 高电平到低电平, 1– 低电平到高电平
每一个 bit 需要两位电平表示

波特率是比特率的两倍： $10 \times 2 = 20 \text{ Mbaud}$

作业四 4.14



14. 假设经典以太网使用曼彻斯特编码，请画出比特流 0001110101 的编码输出。



信号: LH LH LH HL HL HL LH HL LH HL
 0 1

作业四 4.15

15. 一个 1 千米长、10 Mbps 的 CSMA/CD LAN (不是 802.3), 其传播速度为 200 米/微秒。这个系统不允许使用中继器。数据帧的长度是 256 位, 其中包括 32 位的头、校验和以及其他开销。在一次成功传输后的第一个比特槽被预留给接收方, 以便它抓住信道发送 32 位的确认帧。假定没有冲突, 试问除去开销之后的有效数据率是多少?

CSMA/CD 发送的是帧。站点有数据要发送时, 首先监听信道有无载波, 如果信道空闲则可以发送。站点开始发送这一帧, 并需要 $2t$ 时间 (两倍信道最大传输时间) 来确认没有冲突: 在发送过程中, 站点监听信道, 如果在 $2t$ 之内没有冲突, 则发送方可以认为这一个帧的发送有效 (将会发送成功), 即“抓住了信道”。站点把这个帧发送完毕, 随后信道空闲。然后, 各个站点重新开始竞争下一个帧的传输机会。

发送 256bit 所需时间包括: 1) 链路传输时间 $5\ \mu\text{s}$; 2) 发送 256bit 时间 $25.6\ \mu\text{s}$; 3) 链路传输时间 $5\ \mu\text{s}$; 4) 发送 32bit 时间 $3.2\ \mu\text{s}$, 合计 $38.8\ \mu\text{s}$ 。有效数据率为 $224\text{bit} / 38.8\ \mu\text{s} = 5.77\text{Mbps}$ 。

作业四 4.18

18. 以太网帧必须至少 64 字节长，才能确保当电缆另一端发生冲突时，发送方仍处于发送过程中。快速以太网也有同样的 64 字节最小帧长度限制，但是它可以快 10 倍 的速度发送数据。试问它如何有可能维持同样的最小帧长度限制？

快速以太网的比特率是以太网的10倍，只需快速以太网的链路传输时间为原来的 $\frac{1}{10}$ （即最大电缆长度降低至 $\frac{1}{10}$ ），则最小帧保持长度一致。

作业四 4.25

25. 假设一个 11 Mbps 的 802.11b LAN 正在无线信道上传送一批连续的 64 字节帧，比特错误率为 10^{-7} 。试问平均每秒钟将有多少帧被损坏？

每个 bit 错误率为 10^{-7} ，则 64 byte (512 bit) 的包完全正确的概率： $(1 - 10^{-7})^{512} = 0.9999488$

1秒发送的帧数目： $11 \text{ Mb} \div 512 \text{ b} = 21484.375$

错误的帧数目： $21484.375 \times (1 - 0.9999488) = 1.1$

或：

每秒钟传输 1.1×10^7 个比特，每个帧 64 字节，因此每秒钟传输 $1.1 \times 10^7 / (64 \times 8) = 21484.375$ 个帧。每个帧出错的概率为 $1 - (1 - 10^{-7})^{512} = 5.12 \times 10^{-5}$ ，每秒钟损坏的帧的数量服从二项分布

$B(21484.375, 5.12 \times 10^{-5})$ ，数学期望为 $np = 21484.375 \times 5.12 \times 10^{-5} = 1.1$ ，即平均每秒钟有 1.1 个帧被损坏。

作业四 4.27

27. 为什么有些网络用纠错码而不用检错和重传机制？请给出两个理由。

一种可能是网络传输错误率相当高，如果采用检错+重传的机制，可能大多数帧都需要重传，很多帧还需要不止一次的重传；采用纠错码虽然带来了一些额外的开销，但无法纠错需要重传的情况大大减少，从而有效提高了传输效率。

另一种可能就是对实时性要求苛刻的场合（例如航天或工业控制），一旦出错重传就会造成额外的延迟，而这种延迟可能会造成相当严重的后果，因此需要用纠错码更快速地修正，避免出错重传。

作业五 5.2

2. 数据报网络将每个数据包当作独立的单位进行路由，路由过程彼此独立。虚电路网络不必采用这种方式，因为每个数据包都沿着一条预先确定的路由。试问，这是否意味着虚电路网络不需要具备将单个数据包从任意源端路由到任意接收方的能力呢？请解释你的答案。

- 并非如此，因为虚电路是“虚”的，建立虚电路的过程中也需要从任意源端路由到任意接收方的能力，否则试图建立虚电路的两端无法通信，虚电路也建立不起来。

作业五 5.3

3. 请给出 3 个在建立连接时可能需要协商的协议参数例子。

- 有可能需要协商的参数包括窗口大小、数据包的最大长度、数据传输速率和计时器的初值等等。

作业五 5.9

9. 一个有 4800 台路由器的网络采用了层次路由。试问对于三层结构来说，应该选择多大的区域和簇才能将路由表的尺寸降低到最小？一个好的起点是假设这样的方案接近最优：有 k 个簇，每个簇有 k 个区域，每个区域有 k 个路由器。这意味着 k 大约是 4800 的立方根（约等于 16）。反复试验找出所有这三个参数在 16 附近的各种组合。

- 在 $x \cdot y \cdot z \geq 4800$ 的条件下求 $(x + y + z)_{\min}$ ，令 $a = \ln(x)$ ， $b = \ln(y)$ ， $c = \ln(z)$ ，则问题转化为在 $a + b + c \geq \ln(4800)$ 的条件下求 $(e^a + e^b + e^c)_{\min}$ 。由均值不等式可得， $(e^a + e^b + e^c) \geq 3 \cdot \sqrt[3]{e^a \cdot e^b \cdot e^c} = 3 \cdot \sqrt[3]{e^{a+b+c}} \geq 3 \sqrt[3]{4800} \approx 50.61$ ，向上取整得到 51。所以最小的路由表大小为 $51 - 2 = 49$ ，即需要 49 个路由表项（因为该路由器自身所在的区域和所在的簇并不需要单独的路由表项，如果路由表项已经精确到了路由器 1A、1B、1C，则不需要再针对整个区域 1 保存一个路由表项了，参见教材图 5-14(c)），而最小值在 $e^a = e^b = e^c$ 处取到，即 $x = y = z = 17$ 。一种可行的方案为：有 17 个簇，每个簇有 17 个区域，每个区域有 17 个路由器，这样最多能支持 4913 台路由器。

作业五 5.10

10. 在正文中提到当一台移动主机不在家乡网络时，发送至它本地 LAN 的数据包将被该 LAN 上的家乡代理所截获。针对一个 802.3 LAN 上的 IP 网络，试问家乡代理如何完成这样的截获工作？

- 可以采用类似ARP欺骗的做法，直接通过ARP响应声称自己就是那台不在家乡网络的移动主机，也即一旦听到有主机询问那台移动主机的IP地址对应的MAC地址时，就把自己的MAC地址发送过去，之后就可以代替那台移动主机完成Ethernet层的通信。

作业五 5.22

22. 假设网络采用区分服务模型。考虑使用加速转发服务的用户。试问是否可以保证加速型数据包比常规数据包的延迟更短？为什么是，或者为什么不是？

- 这不一定，如果加速型数据包数量过多，而留给加速型数据包的带宽不足，有可能加速型数据包的延迟反倒更长（就像银行设有VIP窗口，而VIP窗口也有排队的时候，如果此时普通窗口恰好没有人排队呢？）。

作业五 5.28

28. Internet 上一个网络的子网掩码为 255.255.240.0。试问它最多能够容纳多少台主机？

- 255.255.240.0转换为二进制为(11111111, 11111111, 11110000, 00000000)₂，所以最多有 $2^{12}=4096$ 个IP地址，去掉全0和全1的IP地址，最多支持 $2^{12}-2=4094$ 台主机。
- 不要不减，也不要减多了。

作业五 5.34

34. 许多公司采取这样的策略：通过两个或者多个路由器将公司连接到 Internet。这种冗余度保证了其中一个路由器停机时网络还能使用。试问采用 NAT 策略之后，仍然能正常工作吗？请解释你的答案。

- 也有可能正常工作。
- 方法一：保证每一个连接的进出流量只流经同一个出口路由器。否则一个内网IP地址就会被映射到两个甚至更多个公网IP地址，这样就会给与内网主机通信的Internet上的其他主机造成困扰——“到底哪个IP地址是你？”
- 更具体的例子：假如我在宿舍里同时使用了两个有线网络接口，其上各连接了一个路由器，分配到的IP地址分别是59.66.131.4和59.66.131.5，这两个路由器均可作为宿舍内的局域网的出口。如果我在宿舍运行一个Web服务器，假如有人在外网通过59.66.131.5这个IP地址访问我的网站，如果不能保证每一个连接的进出流量只流经同一个出口路由器，则Web服务器返回的报文有可能通过59.66.131.4发出，而外网的访问者会认为这个报文无效，因为它并不是来自59.66.131.5。（俗称“源进源出”）

作业五 5.34

34. 许多公司采取这样的策略：通过两个或者多个路由器将公司连接到 Internet。这种冗余度保证了其中一个路由器停机时网络还能使用。试问采用 NAT 策略之后，仍然能正常工作吗？请解释你的答案。

- 方法二：多个出口路由器共同维护同一份NAT转换表，例如采用Cisco HSRP。
- 也可以回答“不能”并给出解释。言之成理即算正确。

作业五 5.40

40. IPv6 使用 16 个字节的地址。如果每隔 1 ps 就分配掉一百万个地址，试问整个地址空间可以持续分配多久？

- IPv6使用16个字节的地址，也就意味着有 $2^{16 \times 8} = 2^{128}$ 个IP地址，可以持续分配的时间（以年计）则为 $2^{128} / 10^6 / 10^{12} / 86400 / 365 = 10790283070806$ ，也就是大约十万亿年。

作业五 5.42

42. 当 IPv6 协议被引入时，ARP 协议需要作相应的改变吗？如果需要，这种改变是概念性的还是技术性的？

- 需要修改，但只是技术性的修改。因为ARP只是维护一个IP地址到MAC地址的映射，需要修改的只是IP地址域的长度。