



清华大学

Tsinghua University

习题解析

《计算机网络原理》教学团队

2024年11月



学术诚信



科研诚信要求

- 参考网上代码请注明出处
- 横向（同学代码）+纵向（往届代码）查重
- 严禁抄袭！抄袭被认定后实验计零分！
- 在书面作业或实验中使用**AI**生成均视同抄袭
- 鼓励同学们讨论交流思路，但不是代码
- 鼓励使用**AI**辅助理解概念、原理和协议，但不能生成作业和实验



1.1

1. 你已经在两个中世纪的城堡之间建立了一个通信信道：让一只受训练的渡鸦重复地从发送城堡携带一个卷轴到达 160km 外的接收城堡。渡鸦飞行的平均速度是 40km/h, 每次只能携带一个卷轴。每个卷轴包含 1.8TB 数据。请分别计算在以下 3 种情况下这一信道的数据速率：①要发送 1.8TB 数据；②要发送 3.6TB 数据；③要发送无限的数据流。

- 飞行一次需要时间 $160\text{km}/(40\text{km/h})=14400\text{s}$
- 1.8TB 数据需要一趟：
- $1.8\text{TB}/14400\text{s}=14.4\text{Tbits}/14400\text{s}=1\text{Gbps}$
- (传输中 $1\text{Tbps}=10^3\text{Gbps}$, 这里答案中 1GB 到 1Gb 的换算也直接使用了 8 倍)
- 3.6TB 数据需要三趟：
- $3.6\text{TB}/(3*14400\text{s})=0.67\text{Gbps}$
- 无穷多数据平均每 1.8TB 需要两趟：
- $1.8\text{TB}/(2*14400\text{s})=0.5\text{Gbps}$
- 注：1GiB=1024MiB; 1Gbps=1000Mbps



1.6

6. 客户-服务器系统的性能受到两个主要网络特征的严重影响：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传送到服务器需要多少秒）。请给出一个网络的例子，它具有高带宽，但也有高延迟；然后再给出另一个网络的例子，它具有低带宽和低延迟。

- 高带宽、高延迟：横跨大陆的光纤网络
- 低带宽、低延迟：小范围的家庭局域网
- 单独说光纤和同轴电缆是不准确的，这两个东西单独没法比较谁延迟大，电磁波和光有什么区别呢



1.8

8. 一个服务器通过卫星给客户发送数据包。这些数据包在到达目的地以前必须经过一个或多个卫星。这些卫星使用了存储-交换数据包交换模型,交换时间为 $100\mu\text{s}$ 。如果数据包传输的总距离为 $29\,700\text{km}$,那么,若 1% 的延迟是由数据包交换引发的,数据包必须经过多少个卫星?

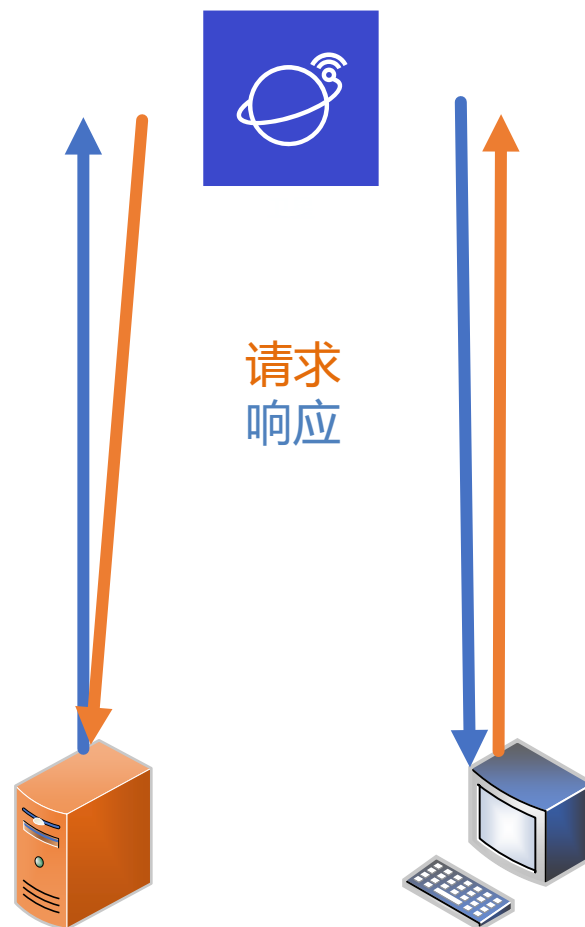
- 传输距离 29700km , 真空光速 $3 \times 10^8\text{m/s}$ (请记住这个值, 如果不说明则默认使用真空光速即可)。
- 传输延迟: $29700 \times 10^3 / (3 \times 10^8) = 99\text{ms}$
- 数据包交换延迟 y (ms)
- 有:
- $y/(y+99)=0.01$ (注意题意对应的方程写法, 不是 $y/99=0.01$)
- $y=1\text{ms}$
- 经过10颗卫星



1.9

9. 一个客户-服务器系统使用了卫星网络,卫星高度为 40 000km。在响应一个请求时,最佳情形下的延迟是多少?

- 响应一个请求的最佳情形是指信号沿直线传播、处理延迟忽略不计
- 发出请求到响应返回,共需要与卫星通信四次
- 延迟= $4 \times 40000 \text{ km} / (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 0.533 \text{ s}$





1.12

12. 5 台路由器通过一个点到点子网连接在一起。网络设计者可以为每一对路由器设置一条高速线路、中速线路、低速线路或根本不设置线路。如果计算机需要 50ms 生成并遍历每个网络拓扑,它需要多长时间才能遍历所有的网络拓扑?

- 排列组合题
- 共有 $C(2,5)=10$ 个路由器对, 每个有4种线路, 共计 4^{10} 种拓扑。
- 耗时 $4^{10} \times 50\text{ms} = 14.6\text{h}$



1.13

13. 共 $2^n - 1$ 台路由器按照中心化的二叉树相互连接, 每个树节点一台路由器。路由器 i 通过向二叉树的根节点发送消息与路由器 j 进行通信, 由根节点将消息向下发送到 j 。假设所有的路由器都是等可能的, 对于足够大的 n , 请推导出每条消息要经过的跳数平均值的近似表达式。

- 路由器之间的平均路径长度, 是路由器到根节点平均路径长度的2倍。
- 设树中根的深度为1, 最深的一层深度为 n
- 从根到第 n 层需 $n-1$ 跳, 这一层路由器数量为 $2^{(n-1)}$
- 以此类推, 总跳数为:
- $L = (n-1) \cdot 2^{(n-1)} + (n-2) \cdot 2^{(n-2)} + \dots + [n-(n-1)] \cdot 2^{[n-(n-1)]}$
- $2L = (n-1) \cdot 2^n + (n-2) \cdot 2^{(n-1)} + \dots + [n-(n-1)] \cdot 2^{[n+1-(n-1)]}$
- $L = (n-1) \cdot 2^{(n-1)} - 2^{(n-1)} - 2^{(n-2)} - \dots - 2^2 = (n-2) \cdot 2^{n-1} + 2$
- 平均每一个路由器到根节点的跳数为:
- $L / (2^{n-1}) = n-2 + 2 / (2^{n-1})$
- 因此路由器到路由器跳数为上述的两倍, 即 $2n-4 + 2n / (2^{n-1})$ 。
- 在 n 很大时, 最后一项倍忽略 (常数项甚至也可以忽略)



1.14

14. 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。考虑一个简单的例子,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 。由于冲突而被浪费的时间槽比例是多少?

- 同时不止一个主机访问信道时产生冲突:
- $P=1-(1-p)^n-np(1-p)^{(n-1)}$



1.16

16. 链路层、网络层、传输层每一层都必须在有效载荷中加入源和目标信息,请解释这是为什么。

- 由于每一层需要完成不同的功能, 每一层所需要的有关数据来源及去向的信息也有所不同。比如数据链路层仅需要了解下一步应该去哪里, 而网络层需要了解最终的目的地是哪一台计算机, 传输层则需要进一步区分这些数据属于计算机的哪一个进程。



1.17

17. 请将链路层、网络层、传输层与每一层向上面的层提供的保证进行匹配。

保 证	层
尽力传递	网络层
可靠传递	传输层
按序传递	传输层
字节流抽象	传输层
点到点链路抽象	链路层



1.19

19. 假定两个网络端点的往返时间是 100ms, 每次往返发送方传输 5 个数据包。假定数据包的大小为 1500B, 那么, 对于上述往返时间, 发送方的传输速率是多少? 请以字节每秒 (B/s) 为单位给出答案。

- $5 * 1500 / 0.1 = 75000 \text{ B/s}$



1.20

20. 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)。总裁让公司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。工程师又各自向公司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。这个通信机制违反了 OSI 模型意义上的哪个多层协议原则?

- 违反了物理层的通信协议。在OSI协议模型中,物理层通信只发生在最底层,而案例中发生在了每一层。



1.21

21. 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,另一个提供可靠的消息流。这两者是否相同? 如果你认为这两者相同,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。

- 不相同。
- 在消息流中,网络保持对消息边界的跟踪;而在字节流中,网络不做这样的跟踪。
- 任意举例即可。
 - 请不要再举1024字节的例子了,好嘛? 😊



1.24

24. 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 ,发送一帧需要的平均传输次数是多少? 假设确认帧永远不会丢失。

- 第一次不损坏: $1-p$, 传输次数为: 1
- 第一次损坏, 第二次不损坏: $p(1-p)$, 传输次数为: 2
-
- 平均次数 $1/(1-p)$



1.25

25. OSI 模型和 TCP/IP 模型中哪些层负责处理下面的事项？

(a) 将要传输的比特流分割成帧。

(b) 确定子网使用哪一条路径。

- (a) OSI 数据链路层, TCP/IP Host-to-Network层
- (b) OSI 网络层 (The Network Layer) , TCP/IP 网络层 (Internet)



1.32

32. 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。

- 两种方式各有利弊,在不同的网络状况下使用。
- 如果网络丢包率高,那么对每一个分组逐一进行确认较好,如果发生丢失此时仅需要重传丢失的分组;但是如果丢包率很低,那么每一个分组都进行确认会浪费带宽。
- 在整个文件传送的结尾发送一次确认,从而可以减少需要确认的次数,从而节省带宽;但是如果此时有单个分组丢失,也需要重传整个文件。



1.38

38. 请分别给出网络协议国际标准化后的两个优点和两个缺点。

- 优点：统一标准可以保证互通；规模化降低成本
- 缺点：标准的制定和修改较慢；标准制定过程中可能受到干扰



1.41、42

图 1.41. 假设实现第 k 层操作的算法发生了变化。这会影响第 $k-1$ 层和第 $k+1$ 层的操作吗？

图 1.42. 假设由第 k 层提供的服务(一组操作)发生了变化。这会影响第 $k-1$ 层和第 $k+1$ 层的服务吗？

- 第 k 层算法变化属于层内变化，不影响上下层。
- 第 k 层服务变化不影响第 $k-1$ 层，但影响第 $k+1$ 层。
- 典型的AI答案：
 - 通常情况下，更改第 k 层操作的算 法可能会 影响第 $k-1$ 层和 第 $k+1$ 层的服务，尤其是在涉及到协议和接口的情况下。这取决于特定情况，以下是可能的情况：
 - 1.影响第 $k-1$ 层的服务：如果第 k 层的操作变化导致了更高层的接口或协议的修改，那么第 $k-1$ 层可能需要相应地进行调整。这可能会涉及到更改数据的格式、传输的方式或协议的行为。如果第 k 层的算法更改引入了新的错误处理机制或导致数据包的重新排列，那么第 $k-1$ 层可能需要调整其数据接收和处理逻辑。
 - 2.影响第 $k+1$ 层的服务：如果第 k 层的 操作变 化导致 更改 了数据传输或编码 方式， 第 $k+1$ 层可能需要适应这些变化。这可能包括更改数据解析和处理的方式，以适应新的数据格式或传输机制。如果第 k 层的算 法更改 导致了 更高层协议的修改， 那么第 $k+1$ 层可能需要相应地进行调整，以确保数据的传递和处理与新的协议兼容。总之， 更改第 k 层操作 的算 法可能会 影响 上层和下层的服务，特别是在涉及到协议、接口和数据 格式的情况下。因此，在进行这种变化时，通常需要进行仔细 的测试 和验证，以 确保整个系统的正常运行。这也强调 了分层 模型 和接 口设计 的重要性，以 便更容易适应 变化并减少对其他层的不必要影响。



1.45

45. ping 程序使你能够向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。请用 ping 程序测试从你所在的位置到几个已知位置需要多长时间。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精确地知道。比如,berkeley.edu 在美国加利福尼亚州的 Berkeley, mit.edu 在美国马萨诸塞州的剑桥,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 在南非的开普敦。

- 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-fw08.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 Safety · 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]

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

例子: CDN 网络



2.2

2. 光纤作为传输介质与铜芯相比有什么优势？与铜芯相比光纤是否存在不足？

- 优势：带宽大；价格低廉；不易窃听
- 不足：易损坏

19:08
COMMSCOPE



3 10

首图 口碑

¥838.00

领立减80元券,及12期免息券>

最高返41京豆 换购

领券

首开PLUS年卡, 预估此单额外省24.19元>

自营 康普 AMP NETCONNECT 原装六类网线 (0.51±0.02mm) 非屏蔽网线箱线 蓝色 305米 1859620-6~



店铺



客服



购物车

加入购物车

立即购买

19:09



300米 室外单模单芯
皮线光纤跳线 多规格定制

首图 卖点 口碑

¥249.00 ¥236.55 Lv1会员

开通品牌会员享特权价236.55元, 去开通>

领立减80元券,及12期免息券>

立减16

最高返12京豆

换购

领券

首开PLUS年卡, 预估此单额外省32.95元>

自营 山泽 (SAMZHE) 电信级皮线光纤跳线 SC-SC室外单模单芯 1芯3钢丝尾纤 低烟无卤网线光纤入户线 300米



店铺



客服



购物车

加入购物车

立即购买



2.12

12. 每 1ms 对一条无噪声 3kHz 信道采样一次。最大数据速率是多少？如果信道上有噪声，且信噪比是 30dB，最大数据速率将如何变化？

- 无噪声： $2H\log_2 V$ ， V 没有上限， 速率无上限
 - 请不要再举64位的例子了， 好嘛？ 😊
- 有噪声： $H\log_2(1 + S/N) = 3k * \log_2(1+1000) = 29.9\text{kbps}$



2.13

13. 奈奎斯特定理对高质量的单模光纤适用吗？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。



2.14

14. 电视信道宽 6MHz。如果使用 4 级数字信号, 每秒可发送多少比特? 假设电视信道为无噪声的。

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



2.38

38. 在 1MHz 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 $1\text{MHz} * \log_2(1 + S/N) > 1.544\text{Mbps}$, 得到 $S/N > 1.916$, $10\log_{10}(S/N) > 2.82\text{dB}$



2.47

47. 有 3 个包交换网络, 每个包含 n 个节点。第一个网络采用星状拓扑结构, 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任意一个节点相连。按照跳数, 哪个情形是最佳的传输路径? 平均传输路径如何? 哪个情形是最差的传输路径?

- 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。



2.48

48. 比较在一个电路交换网络和一个(负载较轻的)数据包交换网络中沿着 k 跳路径发送一个 x 位消息的延迟。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,数据传输速率为 b 位/秒。在什么条件下数据包网络的延迟比较小? 请解释在什么样的条件下数据包交换网络优于电路交换网络。

- 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。
- 对于数据包交换网络, 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, 数据包交换网络的延迟比较短。



2.49

49. 假定在一个数据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 位包头, 这里 $x \gg p + h$ 。线路的比特率为 b 位/秒, 传播延迟忽略不计。什么样的 p 值使得总延迟最小?

- 利用 2.48 对于数据包交换网络的结论, 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

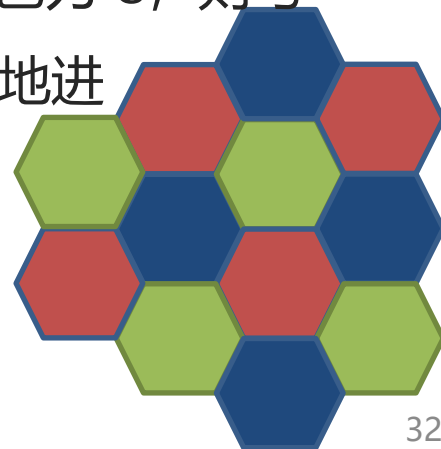
- $$p = \sqrt{\frac{h \times x}{k - 1}}$$



2.50

50. 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率。如果总共有 840 个频率可用,对于一个给定的蜂窝最多可以使用多少个频率?

- 题意应为“在同一时刻” “在这个限制下,能够使用频率的数量最少的蜂窝最多能使用多少个频率”
- 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。





2.61

61. 分别计算在 GEO(高度为 35 800km)、MEO(高度为 18 000km)和 LEO(高度为 750km)卫星间一个数据包的端-端传输时间。

- $2 * H / c$
- GEO: 0.239s
- MEO: 0.12s
- LEO: 0.005s



2.62

62. 如果使用铱星通信,从北极发出一个电话呼叫到达南极的延迟是多少? 假设卫星上的交换时间是 $10\mu\text{s}$, 地球半径为 6371km 。

- $(2 * h + \pi * (r + h)) / c + k * t$
- $r = 6371\text{km}$
- $c = 2.997 * 10^5 \text{ km/s}$
- $k = 6$
- $t = 10 * 10^{-6} \text{ s}$
- $h = 670\text{km} / 750\text{km} / 780\text{km}$
- 不要轻易忽略交换延迟



清华大学

Tsinghua University

谢谢