

注：这里针对各个问题的分析、对比和原因都是基于个人的理解（没有具体套公式的计算题），如果对老师上课内容理解有误导致下面的内容有不恰当的地方的话，还希望老师可以原谅并且指正，学生可以对此加以修改并加深理解，感谢老师理解！

问题一：带宽有哪些含义？如何理解？（analysis）

1. 一般，在通信中，带宽是指复合信号具有的频带宽度，即最高频率与最低频率之差，此时带宽的单位是赫兹（Hz）。
2. 一般，在网络中，带宽是指数字信道所能传送的最高数据速率，此时带宽的单位是 b/s（bps）。
3. 在以赫兹为单位的带宽和以比特/秒为单位的带宽之间存在明确的关系。基本上，以赫兹为单位的带宽增加意味着以比特每秒为单位的带宽增加。这种关系取决于基带传输还是带调制的传输（即宽带传输）。带宽是衡量网络性能的一个重要特征。上述两种理解都是正确的，表达了这是两种不同的测量值，要根据上下文的语义来进行具体理解。
4. 值得注意的是，带宽单位里的 k、m 等是指 10^3 和 10^6 以此类推，与计算机组成原理这类硬件课程里用 2^{10} 表示 1k 有所不同，这也是当下 U 盘制造厂商以此混淆视听缩水 U 盘实际存储量的手段。

问题二：周期性与非周期性模拟信号、周期性与非周期性数字信号之间的对比。（comparison）

这里不对模拟信号和数字信号的定义与区分进行阐述，因为个人感觉不是很难理解，其相关的描述量也有具体的定义了，不做赘述。

1. 在时域上，周期性信号表现为同一模式的随时间的不断重复，而非周期信号则不表现出随时间重复的模式。在频域上，经过傅里叶变换分解后，模拟信号的带宽是有限的，其中周期性模拟信号呈现出离散的频率分布，非周期性模拟信号呈现出连续的频率分布；而数字信号的带宽则是无限的，其离散和连续的关系与模拟信号一致。

2. 用下表进行归纳:

	周期性	非周期性
模拟信号	有限带宽, 离散频率	有限带宽, 连续频率
数字信号	无限带宽, 离散频率	无限带宽, 连续频率

3. 在数据通信中, 我们通常使用周期性模拟信号, 因为它们需要更少的带宽, 以及非周期性数字信号, 因为它们可以表示数据的变化。

问题三: 如何辨析传播时延、传输时延、排队时延和处理时延? (comparison)

虽然老师在第 0 章对于这四种 latency 讲解得已经很详细了, 但是我一直不太明白这四种时延/延迟出现的具体场景。在学习第 1 章的分组转发后, 才对这四个概念有了更进一步的理解。

1. 传播时延是度量从信息从源到目的地所消耗的时间, 很显然, 信息不可能从源“顺移”到目的地, 这其中需要“运送”的时间。在分组转发中表示物理链路长度与信号传播速度之比。

2. 传输时延是指在信息发送过程中, 从第一个 bit 数据离开到最后一个 bit 数据离开所经过的时间, 因为: 信息发送不是一 bit 一 bit 发送的, 也不可能若干个 bit 直接一瞬间就发送出去。在分组转发中表示分组长度与链路带宽之比。

3. 排队时延其实很好理解, 信息传输过程中的每个中间站点或者是终端都会受到很多信息, 后面的信息需要等前面的信息都处理、发送完, 才能轮到他, 就和我们平时在窗口买饭排队一样。因此排队时延取决于当前网络的负载, 他是一个复杂、难以直接度量的量, 就好比我们也无法知晓何时去打饭要排多久队。

4. 处理时延在学习分组转发后有了更深的理解, 他主要是用于差错检测和确定输出链路所带来的时间消耗。例如分组转发中由于对数据添加了首部并进行分组, 因此其在路由器等中间结点所存储——转发带来的结点处理时延就不可忽略。

5. 针对老师提到的车队的类比:

- 假定车速为 100 km/hr \Leftrightarrow 信号传播速度
- 收费站放行一台车用时 12 秒 \Leftrightarrow 比特传输时间

- 车 \leftrightarrow 比特
- 车队 \leftrightarrow 分组
- 车队通过收费站时间 \leftrightarrow 传输延迟（120 秒）
- 每台车从第一个收费站跑到第二个收费站用时 \leftrightarrow 传播延迟（1 小时）

问题四：为什么数字信号的基带传输只能在低通信道上？为什么带通信道传输数字信号需要调制？（reason）

1. 为了弄清楚前一个问题，需要对数字信号的频域特点以及低通和带通的区别有深刻的理解（弄清这里的逻辑关系与因果关系让我受益匪浅）。数字信号在频域上呈现出无限的带宽（问题三已经阐明），其实这很好理解，因为数字信号在时域上只有水平部分和垂直部分。按照 T 与 f 的换算公式，其相应的频率为 0 和无穷。因此如果我们想要发送一个完整的非周期数字信号的话，就需要发送整个频谱（频率的连续范围为 0 到无穷）。而低通与带通的区别是什么？简单来看，低通只有上界，而带通同时有上下界。只要频率不超过低通信道的上限值，信号都可以不失真地通过。而如果是带通信道，假设其上下界分别为 f_2 和 f_1 ，那么其 0 到 f_1 的部分都无法通过。虽然理想的、具有无限带宽的低通信道实际中并不存在，但是我们可以 get close，即带宽很宽的低通信道。

2. 搞明白前一个问题后，后面的问题就很好解释了。根据前述，难道带通信道就无法进行数字信号的传输了吗？这就是数字信号的另一种传输方式——宽带传输的舞台了。宽带传输就是将数字信号转换为模拟信号来进行传输的方式，我们知道模拟信号在频域上的带宽是有限的（问题三已经阐明），这就符合了带通的特点。这也就是为什么宽带传输是 using modulation 的原因——需要通过调制将数字信号转换为模拟信号进行传输。

3. 总结下来，对这两个问题的理解可以概括为：数字信号的传输有两种方式：基带传输和宽带传输，前者基于低通，可以不加转换的直接传输数字信号；而后者则基于带通，需要通过调制将数字信号转换为模拟信号来进行传输。

（这里有关老师提到的整形、所需带宽 \leftrightarrow 车轮宽度、可用带宽 \leftrightarrow 马路宽度等细节与类比理解就不再赘述了）

问题五：奈奎斯特与香农公式的分析与理解？（analysis）

要搞清楚这两个定理，要先弄清一些定义：波特率（baud rate）、比特率（bit rate）、带宽（bandwidth）、容量（capacity）。

1. 前两个是很容易混淆的定义。

波特率指的是信号每秒钟电平变化的次数，单位是 Hz：比如一个信号在一秒钟内电平发生了 365 次变化，那么这个信号的波特率就是 365Hz；比特率是信号每秒钟传输的数据的位数，我们知道在计算机中，数据都是用 0, 1 表示的，所以比特率也就是每秒钟传输 0 和 1 的个数，单位是 bps（bit per second）。二者是什么关系呢？我们可以假设一个信号只有两个电平，那么这个时候可以把低电平理解为“0”，高电平理解为“1”，这样每秒钟电平变化的次数也就是传输的 0, 1 个数了，即比特率 = 波特率。但是有些信号可能不止两个电平，比如一个四电平的信号，那么每个电平就可以被理解成“00”，“01”，“10”，“11”，这样每次电平变化就能传输两位的数据了，即比特率 = 2 × 波特率。一般的， $\text{bit rate} = \text{baud rate} \times \log_2 L$ ，这里 L 就是信号电平的个数。

2. 带宽的理解在问题一中已经详细阐明，下面来分析什么是信道的容量：

我们知道数据在信道中传输会有他们的速度——比特率，这里面最高的比特率就叫做这个信道的容量，单位是 bps。就好象每条公路都有他们的最高限速，那么所有在里面开的车都不会超过这个速度。实际中，口语也会把信道容量叫做“带宽”的，比如“带宽 10M 的网络”，“网络带宽是 10M”等等。所以这两个概念也很容易混淆：我们平常所说的“带宽”不是带宽，而是信道容量。

3. 定理解释。

奈奎斯特定理：

$$C_{\max} = 2 \times B \times \log_2 L$$

这里 C_{\max} 指的是信道的最大容量，B 是信道的带宽，L 还是信号电平的个数。奈奎斯特定理适用的情况是无噪声信道，用来计算理论值。但是没有噪声的信道在现实中是不存在的。那么有噪声的信道该如何计算呢？这就是香农定理所阐述的：

$$C_{\max} = B \times \log_2 (1 + (S/N))$$

S/N 指的是信道的信噪比，但是我们一般测量出来的以 db 为单位的是经过

$10 \times \log_{10}(S/N)$ 换算的，所以这里还要换算回来才行。

香农定理给出了信道信息传送速率的上限（比特每秒）和信道信噪比及带宽的关系。简单总结：The Shannon capacity gives us the upper limit; the Nyquist formula tells us how many signal levels we need.

类比：城市道路上的汽车的车速和什么有关系？除了和自己车的动力有关之外，主要还受限于道路的宽度（带宽）和车辆多少、红灯疏密等其他干扰因素（信噪比）。信道并不是可以任意增加传送信息的速率，它受其固有规律的制约，就像城市道路上的车一样不能想开多快就开多快，还受到道路宽度、其他车辆数量等因素影响，这个规律就是香农定理。

小结：在上学期的一些课程已经对本章的相关概念有了初步认识，如频域、调制解调等，但是经过老师详细的系统讲解后，才发现自己的理解还远远不够深入。通过本次作业的归纳，我对于本章学习的知识又有了进一步的认识。这里挑选了我个人认为比较重要的五个问题（其中很多也是老师上课时所提出的想看的東西）进行分析，其实在复习寻找问题的过程中还发现了许多值得关注的点，但是考虑到时间和篇幅，没有放上来，仅仅列举了上述部分。加上这是第一次以这种方式完成作业，如果有做的不好的地方还烦请老师批评指正，感激不尽！

