

计算机网络中的物理层，最主要解决的问题是：如何在各种传输媒体上传输比特0和1的问题。

以我们平时上网为例：

- 有线上网：我们用了一根网线来连接电脑和网口，传输的媒介是网线（双绞线），电（如果是双绞线）或光（如果是光纤）是信息的载体。
- 无线上网：我们使用WIFI或者移动网络。WiFi 的方式用的是一定频率（目前是 2.4 Ghz 或 5 Ghz）的无线电波（作为信息的载体），属于电磁波。

上面就提到了现在很主流的一些传输媒体：双绞线、光纤以及微波通信。在计算机网络中，物理层的学习主要是偏向于基础概念的学习，而不用去关心具体的传输协议。

一、计算机世界为什么只有0或1

我们说了，物理层的主要问题是如何在各种传输媒体上传输比特0和1，那是否思考过为什么只有0和1呢？然后不应该有2、3、4、5等等吗？

这是因为区分不同的电信号是很困难的。

对于一个在 0 V 到 5 V 之间的电信号，要区分到底它是比较接近 0 V 还是 5 V，是很容易的。

然而，如果要我们区分这个电信号到底是接近 0 V、1 V、2 V、3 V、4 V 还是 5 V 的话，就不那么容易了。特别是外界有磁场干扰的时候（比如 磁铁），电信号的大小就会被改变。

此外，计算机中的许多元件都可以呈现两种状态，分别用 0 和 1 来表示，用来计算或储存数据。例如，磁盘未磁化的部分可以表示为 0，磁化的部分表示为 1，许多个这样的 0 和 1 就组成了二进制数据；半导体通电表示为 1，不通电表示为 0，CPU 等半导体芯片就是这样运算的。

用二进制的优点是容易表示，运算规则简单，节省设备。具有两种稳定状态的元件（如晶体管的导通和截止、继电器的接通和断开、电脉冲电平的高低等）容易找到，而要找到具有 10 种稳定状态的元件来对应十进制的 10 个数就困难了。

总结而言就是：区分、生成 2 个信号比区分、生成 5 个，10 个甚至更多的信号要容易得多。

【苏联三进制计算机】

不过，凡事都有一个例外，三进制计算机并非没有出现在人类计算机发展史上出现过。其实，早在上世纪50、60年代。一批莫斯科国立大学的研究员就设计了人类历史上第一批三进制计算机“Сетунь”和“Сетунь 70”（“Сетунь”是莫大附近一条流入莫斯科河的小河的名字）。

随着技术的进步，真空管和晶体管等传统的计算 [1] 机元器件逐渐被淘汰，取而代之的是速度更快、可靠性更好的铁氧体磁芯和半导体二极管。这些电子元器件组成了一个很好的可控电流变压器，这为三进制逻辑电路的实现提供了可能，因为电压存在着三种状态：正电压（“1”）、零电压（“0”）和负电压（“-1”）。三进制逻辑电路非但比二进制逻辑电路速度更快、可靠性更高，而且需要的设备和电能也更少。这些原因促成了三进制计算机“Сетунь”的诞生。

三进制代码的一个特点是对称，即相反数的一致性，因此它就和二进制代码不同，不存在“无符号数”的概念。这样，三进制计算机的架构也要简单、稳定、经济得多。其指令系统也更便于阅读，而且非常高效。

在这群天才青年日以继夜的开发和研制下，“Сетунь”的样机于1958年12月准备完毕。在头两年测试期，“Сетунь”几乎不需要任何调试就运行得非常顺利，它甚至能执行一些现有的程序。1960年，“Сетунь”开始公共测试。

1960年4月，“Сетунь”就顺利地通过了公测。它在不同的室温下都表现出惊人的可靠性和稳定性。它的生产和维护也比同期其它计算机要容易得多，而且应用面广，因此“Сетунь”被建议立即投入批量生产。

不幸的是，苏联官僚对这个不属于经济计划一部分的“科幻产物”持否定的态度。他们甚至勒令其停产。而此时，对“Сетунь”的订单却如雪片般从各方飞来，包括来自国外的订单，但10到15台的年产量远不足以应付市场需求，更不用说出口了。很快，计划合作生产“Сетунь”的捷克斯洛伐克工厂倒闭了。1965年，“Сетунь”停产了。取而代之的是一种二进制计算机，但价格却贵出2.5倍。（说白了，Сетунь 的生产让苏联官僚少了大笔的财政拨款）

有了“Сетунь”的成功经验，研究员们决定不放弃三进制计算机的计划。他们在1970年推出了“Сетунь 70”型计算机。但由于得不到上级的支持，这个科研项目不得不无限期停顿下来。

可以看出来，技术和政治已经都不是问题，并且在理论上效率更优（理论上e进制效率最高），但为什么现在仍然没有三进制计算机呢？一方面，在计算机诞生的初期，具有两种稳定状态的元件比较容易实现，稳定性上二进制肯定比三进制要强；另外一方面，二进制发展速度极快，这就好比你玩了好久的养成游戏，已经花了无数个648，就算没抽出版本之子，也很少有人从零开始玩小号吧，更别说是越来越离不开计算机的今天，抛弃已经发展完善的二进制体系。说点看得见的，要是没了二进制，我们现有的硬件体系都要洗牌，大家的电脑手机等电子产品会直接变砖，这事儿听起来也不现实吧。

但是未来谁说的准呢？二进制可能无法满足更高更快更强的未来世界，比如量子领域，让我们拭目以待吧！

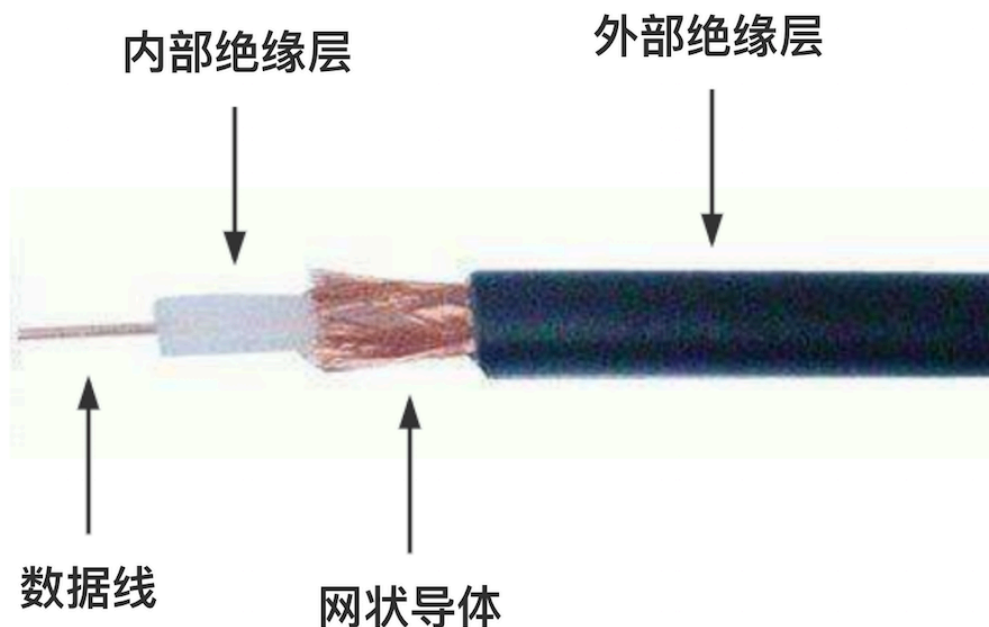
二、物理层下的传输媒体

注意，传输媒体不属于计算机网络体系结构的任何一层，如果非要将其添加到计算机网络结构中的话，那么只能放在物理层之下。

传输媒体分为**导引型传输媒体**和**非导引型传输媒体**。其中导引型传输媒体主要有：同轴电缆、双绞线、光纤等；非导引型传输媒体主要有：无线电波、微波、红外线、可见光等。

我们着重关注导引型传输媒体，非导引型传输媒体了解基本知识即可。

三、同轴电缆



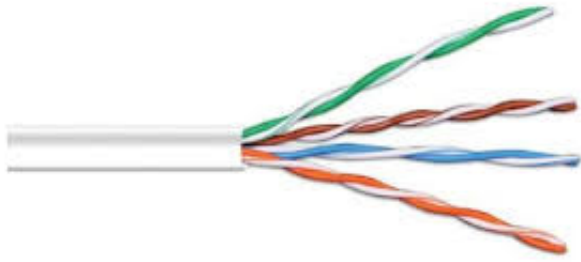
可以看到，同轴电缆的最里面是一根“数据线”（内层导体），0 和 1 这样的电信号就是靠这根数据线来传输的。而外层网状导体是为了提供一个 0 V 的参考电信号。我们对内层导体和外层网状导体做一个“电位差”来获得我们的电信号。

同轴电缆已经成为历史，原因如下：

- 一是**体积大**，细缆的直径就有3/8英寸粗，要占用电缆管道的大量空间；
- 二是**不能承受缠结、压力和严重的弯曲**，这些都会损坏电缆结构，阻止信号的传输；
- 最后就是**成本高**，而所有这些缺点正是双绞线能克服的

因此在现在的局域网环境中，**基本已被基于双绞线所取代**。

四、双绞线



可以看到，双绞线里面有8根线。这 8 根线，两两绞在一起，成双成对，这也是其名字的由来：双绞线。

今天在大多数网络中，我们用两对线，也就是 4 根线。一对是用于发送数据，另一对则用于接收数据。因此，我们用到这 8 根线当中的 4 根。

既然四根线够了为什么还要八根线呢？

目前也已经有一些技术，可以用到双绞线中多于 4 根的线。因此可以说，当初在双绞线里面“塞进” 8 根线是明智之举。

那为什么要把这些线两两绞在一起呢？

其实这是为了更好地保护电信号。科学家研究表明，**把线这样两两绞在一起，可以使线缆更不易受到电磁干扰。**

双绞线目前被用在很多地方，是目前使用最广泛的实体网线，网线界的“一哥”。主要是因为双绞线很牢固，传输速率快，价格也不贵，而且安装很方便。这些优点都是它能替代以前的同轴电缆的重要原因。



五、光纤

光纤是一种由石英或塑料制成的纤维，所以使用光纤通信的成本比同轴电缆等要低很多。铺设 1000 公里同轴电缆大约需要 500 吨铜，改用光纤通信只需几公斤石英就可以了。沙石中就含有石英（主要成分是二氧化硅），几乎取之不尽。

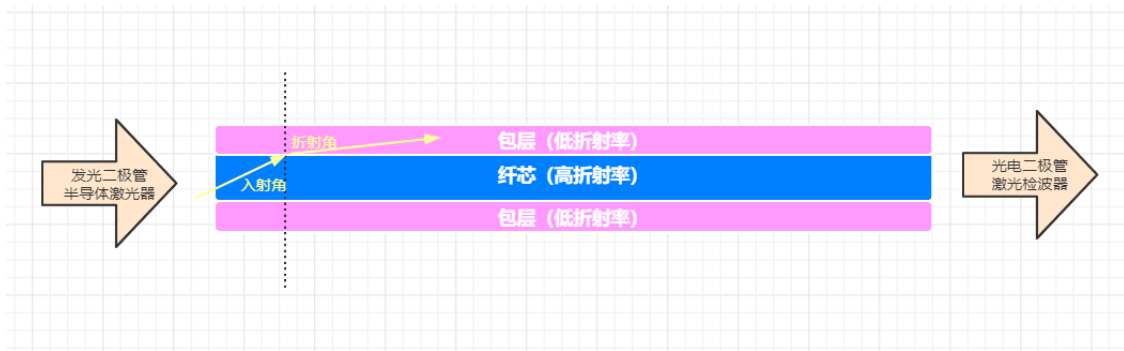
光纤的优点：

- 通信容量大（25000~30000GHz的带宽）
- 传输损耗小，远距离传输时更加经济
- 抗雷电和电磁干扰性能好，这在大电流脉冲干扰的环境下尤为重要
- 无串音干扰，保密性好，不易被窃听
- 体积小，重量轻

当然了也有缺点：

- 割接需要专用设备
- 光电接口价格较贵

光纤的原理是什么？这涉及我们熟知的光的[全反射](#)原理，让我们重温下初中物理吧。

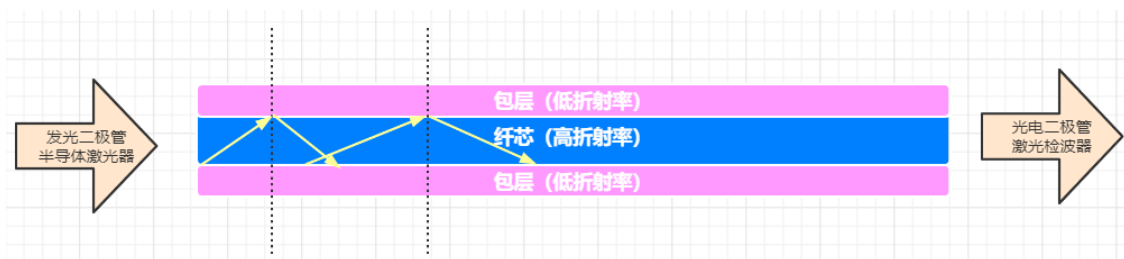


光纤采取这种结构，最里面是高折射率材料，外面包层是低折射率材料，当光从高折射率的媒体射向低折射率媒体时，其折射角将大于入射角。

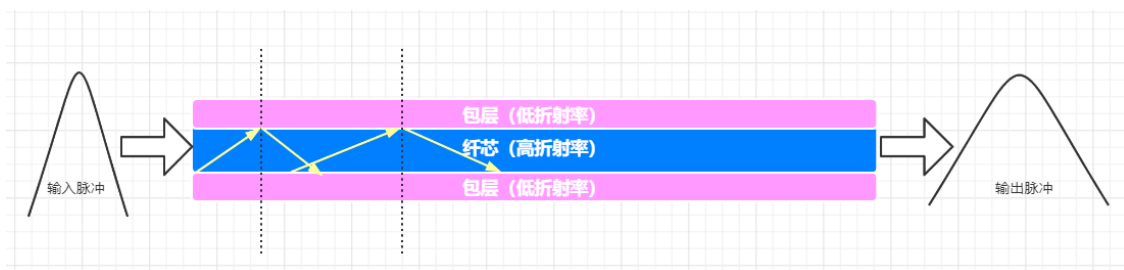
因此，当入射角足够大，就会出现全反射，即光碰到包层时，就会反射回纤芯。



这样，光就可以沿着纤芯靠全反射向前传播了。只要角度大于临界角，都是可以实现全反射的，因此可以存在许多条不同角度入射的光纤在同一条光纤中传输，这种光纤称为**多模光纤**。

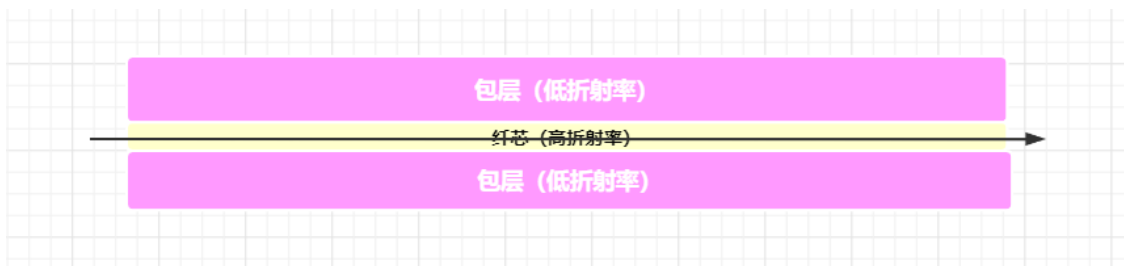


由于光的**色散问题**，光在多模光纤中传输一定距离后必然产生**信号失真**（脉冲展宽）：



因此，**多模光纤只适合近距离传输**。多模光纤对光源的要求不高，可以使用便宜的发光二极管来发送脉冲，相应地使用光电二极管检测光脉冲。

若光纤的直径减少到只有一个光的波长时，则光纤就像一根波导一样，它可使光纤一直向前传播，而不会产生多次反射。



这样的光纤称为**单模光纤**，在单模光纤中色散小，**适合长距离传输且衰减小**，但其制造成本高，对光源要求高，需要使用昂贵的激光发射器发送和激光检波器来接受。

六、连接电脑为什么用双绞线不用光纤？

我们知道光纤传输距离长、损耗小，为啥我们的生活里跟双绞线或者说网线打交道最多呢？

如果用光纤来连接电脑和网络盒子，那么匹配的所有接口必须是光卡口，即使在网络这么发达的今天，一个光口网卡的平均价格要比用双绞线的千兆网卡贵很多，将近 10 倍。

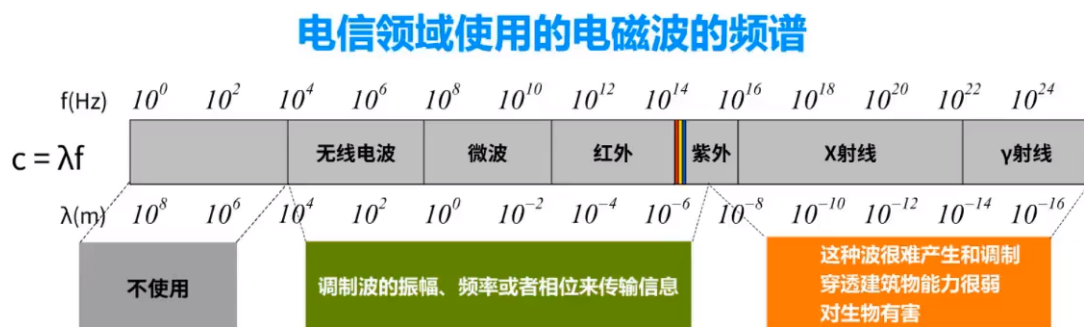
其次，目前一条几米的光纤的价格还是比同样长度的双绞线要贵 1 倍左右。

再者，光纤的信号传输载体是玻璃芯，即使光缆外面有外套保护，可以增加光纤的抗折性，都不能突破走直角的瓶颈。家装布线中，墙面和地面间的直角、墙面和网线面板之间的直角等，**很可能造成线芯的损坏**，网络不能正常使用，而双绞线却能轻松胜任。

所以我们在家庭中能看到光纤的就是跟猫相连的地方了，从猫到路由器，或者路由器到电脑就看不到它的身影了。光纤是在大公司或者很长的主干网络里使用的，因为往往需要很高的通信带宽或者很强的抗电磁干扰能力。

七、非导引型传输媒体

我们可以利用电磁波在自由空间的传播来传送数据信息，可以用来信息传输的范围如下：

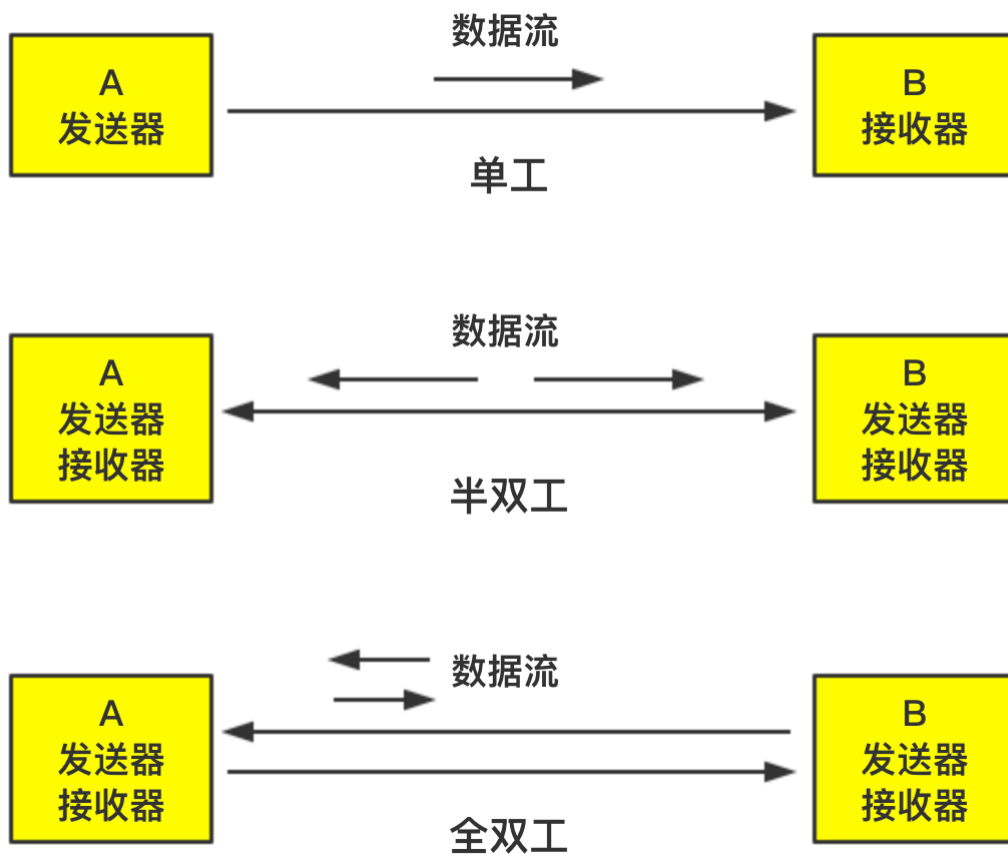


我们经常使用的WIFI信号，属于哪个范围呢？答案是**微波**。

这里我们只需要了解有无线电波、微波、红外、可见光等频段即可，基本原理不是计算机网络的重点，不展开说明。

八、传输方式

这里说下单工、半双工和全双工。



- **单工 (Simplex)**：数据传输是单向的。通信双方中，一方固定为发送端，另一方则固定为接收端，**数据只能沿一个方向传输，类似汽车的单行道**。
- **半双工 (Half Duplex)**：**数据传输是双向的**。数据在通信双方之间能够在两个方向上进行发送，**但不能同时发送**，因此又被称为双向交替通信。无线对讲机就是一种半双工设备，在同一时间内只允许一方讲话：“长江，长江，我是黄河，收到请回答，完毕”；“黄河，黄河，我是长江，已经收到，完毕”。
- **全双工 (Full Duplex)**：**数据传输是双向的，通信双方在发送数据的同时也能够接收数据**，两者可以同步进行，类似汽车的双向车道。目前我们打电话，以及手机的通话，都是全双工的例子。

九、计算机网络中的编码与调制

在计算机网络中，计算机处理、传输用户的文字，图片，音视频，我们将之统称为**消息**（message），**数据（data）是运输消息的实体**，我们日常使用的是十进制数据，但计算机只能识别二进制数据，也就是比特的0和1。计算机网卡将比特0和1处理为相应的高低电平信号（signal）发送到网线，也就是说，**信号(signal)是数据(data)的电磁表现**。

由信号源发出的原始电信号称为**基带信号**，基带信号分为两类：计算机内部内存和CPU之间的**数字基带信号**，麦克风收到声音后产生的音频**模拟基带信号**。

由信源发出的原始信号称为基带信号，也就是基本频带信号。例如，由计算机输出的表示文字、图像、音频、视频的信号都属于基带信号，基带信号往往包含较多的低频部分，甚至包含直流成分（连续的0或连续的1），而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量，因此需要对基带信号进行调制后才能在信道上传输。

信号需要在信道中进行传输，**信道分为数字信道和模拟信道两种**。

对数字基带信号进行编码与调制：

在不改变信号性质的前提下，仅对数字基带信号的波形进行变换，称为编码，编码后仍是数字编码，例如以太网使用曼彻斯编码、4B/5B/8B/10B等编码。

把数字基带信号的频率范围，搬移到较高的频段，并转换为模拟信号，称之为调制。调制后产生的信号是模拟信号。例如WIFI使用补码键控、直接序列扩频、正交频分复用等调制方法。

对模拟基带信号进行编码与调制：

对于模拟基带信号的处理，典型应用：对音频信号进行编码的脉码调制PCM。也就是将模拟音频信号，通过采样，量化，编码这三个步骤进行数字化。

对模拟信号进行调制的典型应用：语音数据加载到模拟的载波信号中传输（电话）。频分复用FDM技术，充分利用带宽资源。

基于以上技术和传输媒体，即可实现物理层的信号传输，以上关于编码、调制的知识实际上属于通信原理和信号与系统的范畴，如果读者朋友们对其感兴趣可自行去了解。

物理层篇并不是我们关注的重点，这里只用一篇文章点出来一些重要概念，下面我们将进入数据链路层的世界。