

无线信道模型

摘要：本文分析了无线信道模型。针对的是对无线信道的各种效应感兴趣的读者。众所周知，正是这些复杂的效应使得无线信道产生了不确定性，也就是通常所说的统计特性。由于这方面很少有比较全面，容易理解的资料，所以本文的内容是对其他几本书和相关的论文资料的综合。此外的资料不是只讨论了部分问题，就是虽然面面俱到，但缺乏一定的深度。

本文深入探讨了“是什么影响了无线信道的特性？”这一问题。主要阐述了无线信道的两种效应：一种是乘性效应，使信号产生衰落；另一种是加性效应，使接收到的信号产生畸变。信号的衰落不一定总是随机过程，但信号的畸变却总是。对于信道对信号产生的各种效应，找到了较好的数学模型，这些模型可以用来仿真和分析系统的性能。而且，我们简单举例分析了一些数字无线调制信道的特性。

内容

1 介绍

2 无线电信道

2.1 路径损耗

2.1.1 天线

2.1.2 自由空间传播

2.1.3 双线模型

2.1.4 经验和半经验模型

2.1.5 其他模型和参数

2.2 阴影

2.2.1 阴影模型

2.2.2 测量结果

2.2.3 阴影修正

2.3 衰落

2.3.1 物理基础

2.3.2 数学模型

2.3.3 衰落的时域和频域特性

2.3.4 一维统计特性

2.3.5 二维统计特性

2.3.6 衰落率和持续时间

3 调制信道

3.1 噪声

3.1.1 门限噪声

3.1.2 窄带高斯白噪声

3.1.3 人为噪声

3.1.4 一些结果

3.2 干扰

4 数字信道

4.1 数字信道的结构

4.2 高斯白噪声信道下二进制 PAM 信号的以 SNIR 为自变量的函数 BER 的计算

4. 3 瑞利信道下 BPSK 信号以 SNIR 为自变量的函数 BER 的计算

4. 4 高斯白噪声信道下其他数字调制方案的一些结果

5 结论

第一章

介绍

任何通信系统的性能决定于采用的物理媒质。媒质可能是光纤，计算机的硬盘，或者一条无线链路，它们即通信信道。可将现存在的大量信道分成两组：通信终端之间存在固定的连接，叫有线信道；没有固定的连接，叫无线信道。由于存在不确定性，无线信道同有线信道相比有明显的不同。无线信道的状态有可能在很短的时间段内发生改变，这些随机和突变特性使得无线通信非常的困难。

无线信道可根据传输环境的不同作进一步的划分。由此产生的不同信道有：城市环境；郊区环境；室内环境；水下或者边缘环境的信道。它们在很多方面都是不同的。

本文将注意力集中在影响无线信道特性的因素上。通过考察电波在无线信道中遇到的基本传播效应的分析模型，说明他们怎样影响通信系统性能的。这些知识对无线信道仿真模型的设计和参数化是至关重要的。另一个突显它们重要性的领域是通信协议设计领域。总的来说，本文的读者是那些对分析无线信道本质特性有兴趣的人。

有一些文献描述了无线信道各个不同的方面，象[4, 12, 13, 8, 17, 9, 3]。然而，文献中的描述缺乏一定的精确度，比如在对无线信道相关衰落的建模中就很笼统。另外，文献只描述了无线信道的部分特性，而遗漏了一部分。还有一些原始资料对于无线通信协议工程师来说又太复杂晦涩了。因此，本文从这些资料编辑整理而来，给那些为了评价通信协议而研究无线信道的人对信道的各种效应一个比较详尽的描述。并且针对不同的环境提供相应的量化描述，如果某人对某种地理条件下信道仿真有兴趣，那么他将很容易的在文中找到合适的模型，以及典型的信道参数。

在一个通信系统的链路中，由于信号传输，接收有大量不同的情况，很难

说到底那一部分是无线信道。图 1.1 代表了常用的信道。这些概念用来区分数字无线通信系统各种不同的信道的提法。

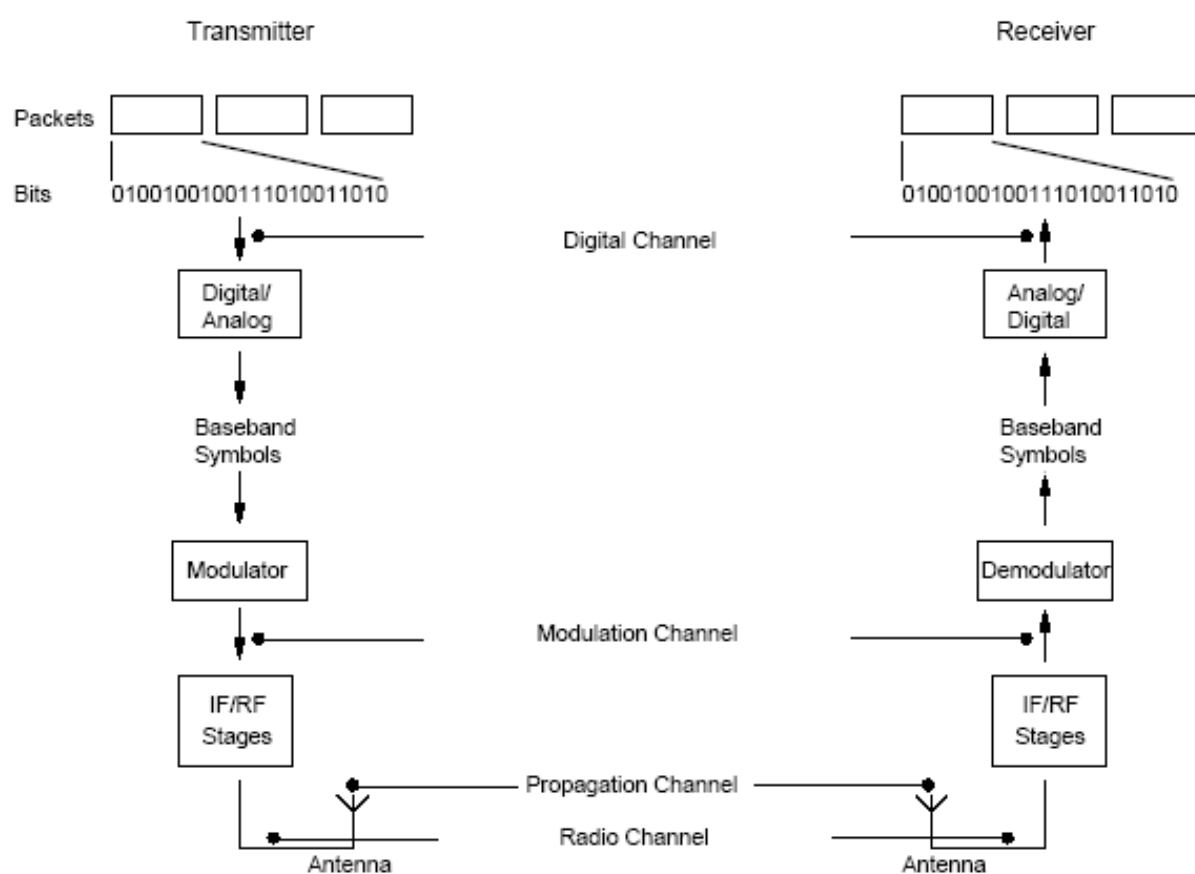


Figure 1.1: Channel classification: propagation channel, radio channel, modulation channel, and digital channel.

传播信道：存在于发送天线与接收天线之间，仅受电波传播特性的影响。几乎总是线性，互倒的，我们也假设如此。传输的信息是调制到载波频率的参数上的，信道的所有效应只影响信号的衰落，因此信道对信号的影响是乘性的。

无线电信道：包括传播信道和收发天线。如果视天线为线性，双边，被动的，那么也可以认为信道是线性和互倒的。信号依然只受到衰落的影响，只是传播信道中的衰落可能受到天线作用的修改而发生变化。当天线的影响是严格线性时，信号应该同传播信道信号完全相同，除了天线的线性放大作用以外。

调制信道：包括无线电信道和一部分系统组成，从发射机调制解调器以后到接收机解调器以前。这部分系统，以及天线的传递特性是否是线性

决定信道是否线性。调制信道不是互倒的，因为收端和发端的放大器不是互倒的。对接收信号进行放大时，信道的加性效应对信号产生了破坏性的加性效应，表现为噪声和干扰。当然，它们有可能在无线电信道中就已经有了，而在这一级信道中还加入了来自电子线路的特殊噪声，仅在无线电信道中是无法对信道的加性效应进行完整描述的。这里的信号包括基带符号，还是调制在载波频率上的。

数字信道：包括调制信道，调制器和解调器。数字信道将发射机和接收机中的数字基带信号联系起来，描述比特发生错误的模式。该信道是非线性，非互倒的。这级信道上没有新的信道效应出现，只是表现形式发生了变化。信号在这一级信道上解调为数字序列，如果接受信号发生了严重的畸变，那么解调得到的序列将同想要传输的序列有所不同。数字信道的输入是比特，可能排列成数据包。这些比特经过分组，并变换成模拟的表现形式，即所谓符号。这些符号属于基带。最后通过调制将这些信号调制到高频载波上。

假设天线是理想的，传输信道和无线电信道就是同一的。无线电信道对信号的衰减是时变的，以 $a(t)$ 表示。这种衰减可在调制信道中得到补偿，信道中的放大器就是放大接收信号的。但是，调制信道中，随机时变的噪声 $n(t)$ 也可能进入到系统中来，使信号产生畸变。如果衰落信号被放大很多，噪声也将随之被放大很多。所以，数字信道中就采用了可靠的检测方法从混合的信号中将有用的信息抽离出来。通信系统中除了固有的噪声以外，还有来自其他通信设备的电磁波对接收信号产生影响，这叫做干扰。干扰同噪声一样会对通信系统的性能产生很大的影响。干扰信号也是时变的，记为 $j(t)$ 接收信号的数学模型 $y(t)$ 依赖于发送信号 $s(t)$ 与影响因素，在图 1.2 中给出（也可参考

[4, 12, 17])。

对于一个运行中的通信系统来说，有两个的标准参数来衡量，比如符号错误率 SER，比特错误率 BER。这两个参数都是与数字信道相关的。BER 与解码后的比特流相关，SER 与未解码的符号流相关。它们都依赖于瞬时功率比：接受信号功率 $y_2(t)$ 和噪声与干扰的功率 $n_2(t)$ 与 $j_2(t)$ 和之比。瞬时功率比由信号噪声干扰比 SNIR (signal to noise and interference) 注意到无线电信道的衰减影响已经包含在接收信号功率 $y_2(t)$ 中了。变化的 SNIR 可能导致 SER 和 BER 的变化，但也不一定总是如此。

如果通信链路的 SNIR 是可获得的，那么平均符号错误率 SER 和比特错误率 BER 也是可以得到的。一般来说，SNIR 与错误率或错误概率的关系不是线性的，而是非常复杂的关系，依赖很多具体技术细节。所以，对任何无限通信系统的性能的研究就需要对与 SNIR 有关的信道所有效应的影响有深入的了解。

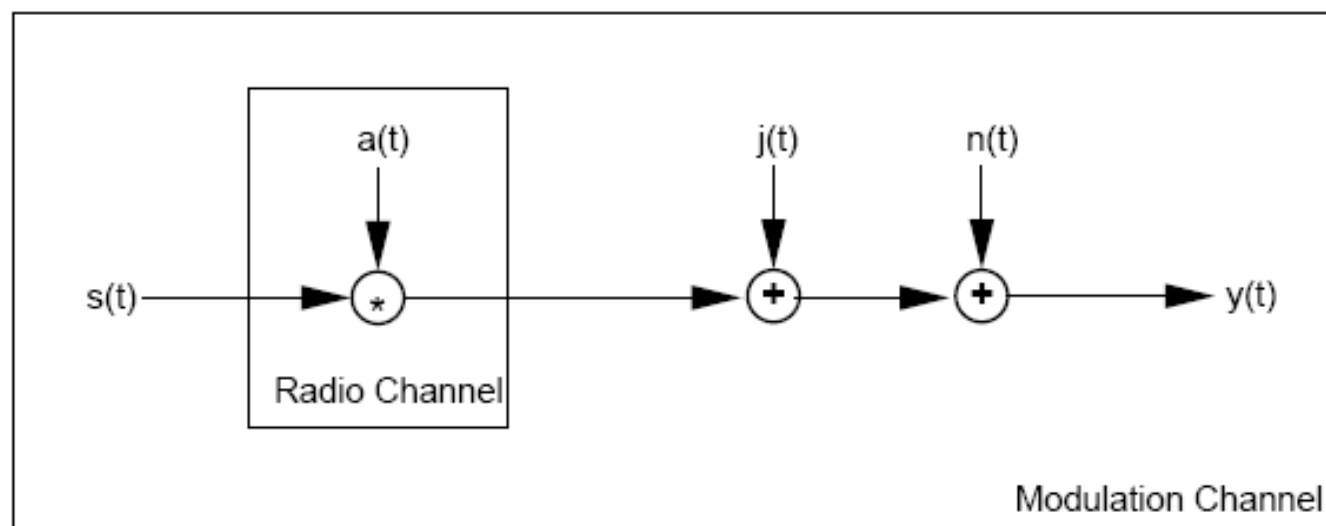


Figure 1.2: Mathematical model of the modulation channel

本文的结构如下：首先，讨论无线电信道中影响信号的各种效应，第二章中讨论衰减 $a(t)$ 接着，描述噪声和干扰的特性，第三章中讨论调制信道对信号的影响。最后，在数字信道中说明这些信道特性是怎样影响接收的比特流，从而影响到系统性能参数的。这将在第四章中说明。

第二章 无线电信道

无线电信道的影响是对接收信号乘以一个系数， $a(t)$ 如图 1.2所示。一种很有用的做法是将信号的衰减效应分解为三种不同的效应。第一种叫做路径衰减，这是一个确定性效应，仅依赖于收发信机之间的距离。对于大时间尺度，秒或分钟级的衰减起重要作用，因为通常情况下，收发信机之间的距离在较短的时间内不会有很大的变化。第二种叫阴影效应，是非确定性的。在同衰减一样的时间尺度内变化，引起与发射机相同距离的不同接收机的接收信号的变化，当然，所有这些点上的平均功率还是由路径衰减决定的。第三种效应叫做衰落，衰落也有统计特性，但不同的是，它引起的是在小时间尺度内，毫秒，甚至微秒级，信号很大程度的衰减。衰落总是由多径传播导致的。多径环境下，无线电波通过不同的传播路径到达接收机天线的不同分量相互干涉使得总的信号场强快速波动。

所有三种衰减效应联合导致了实际的无线电信道的衰减。这种衰减可以分解，如等式 2.1所示。

$$a(t) = a_{PL}(t) \cdot a_{SH}(t) \cdot a_{FA}(t)$$

在有些文献中阴影有时指慢衰落，而衰落则指以上所说的快衰落。然而，对衰落现象进行这样的划分也是有用的，可分为快衰落和慢衰落两种（见 2.3.3 节）。本文中术语阴影和衰落用于区分上面提到的快慢衰落。

2.1 路径损耗

这部分将论述影响无线电波传输的一种现象。我们将给出接收信号所经历的功率损耗的表达式，这里的损耗仅决定与收发通信收发信机之间的距离，和采用的频率。这种现象称为路径损耗。

通常，如第一章所说，接收信号 $y(t)$ 是一随机过程，平均功率是 $\overline{y^2(t)}$ 。这里仅考虑无线电信道，我们关注的接收机处的信号是天线传感器处没有噪声的信号，故 $y(t) = a(t) \cdot s(t)$ ，接收信号的功率 $P_0 = \overline{y^2(t)} = \overline{a^2(t) \cdot s^2(t)}$ ，其中 $P_t = \overline{s^2(t)}$ 是传送的信号的功率。我们考虑仅由路径损耗引起的衰减为 $a_{PL}(t)$ ，对于具体不变的通信环境，距离，频率来说，它是一个不随时间变化的常数，也就是说这是一个确定性过程。等式 $P_0 = \overline{a_{PL}^2(t) \cdot P_t} = a_{PL}^2 \cdot P_t$ 。有效，如果假设没有运动：包括环境中物体的运动和接收机的运动。该假设对于下一部分将要论述的小尺度现象的时间平均特性（阴影和衰落）是同样的。

我们进一步专注于派生出的路径损耗公式，并给出一些例子说明实际应用公式时应该怎样修正参数。在对路径损耗详细讨论之前，必须考虑天线的一些的问题。

2.1.1 天线

天线的功能是在发射时将电能转化为电磁波，经过传输后在接收端转化回为电能。以下，将讨论传统的天线：被动的和互倒的（发射天线和接收天线是相同）

。

天线有两个重要特性：增益和辐射（方向）图。天线增益是通过与参考天线（偶极子）比较来衡量某天线的对信号的放大作用。天线方向图描述了天线以自身为参考在不同方向上的增益。常常以相对最大方向增益的衰减来表示。总之，发射机和接收机的这两个参数是相同的。

天线按照增益是否随着方向的变化而变化分为全向天线和方向性天线。

对于方向性天线，计算路径衰减时要考虑天线方向图。采用的增益值为连接收发信机的直线方向上的值。此时天线增益为：

$$g = G_{max}[dB] - G_{att}^{[Tx Rx]}[dB]$$

其中， G_{max} 是天线增益； $G_{att}^{[Tx Rx]}$ 是沿收发信机直线方向上天线辐射方向图上的值（单位均为 dB）；负号表示方向图上以最大的方向增益为参考其他方向上与之相比总有衰减。

2. 1. 2 自由空间传播

信号在距离为 d ，自由空间中，视距（路径中没有遮挡物体），条件下传播所经历的衰减，称为自由空间路径损耗，根据 Maxwell 方程可以确却的计算出离天线较远处信号的场强

$$\frac{P_0}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 g_{Tx} g_{Rx}$$

如以 dB 为单位的话，为：

$$\frac{P_0}{P_t}[dB] = 10 \log \frac{P_0}{P_t} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) + 10 \log(g_{Tx}) + 10 \log(g_{Rx}) ,$$

其中， P_0 为接收功率， P_t 为发送功率， λ 表示波长， g_{Tx} 为发送天线增益，

g_{rx} 为接收天线增益（二者均指连接两天线直线方向上的值）。接收功率与距离的平方，频率的平方成反比。公式的物理意义显而易见：自由空间中电波传播在各个方向上是相同的，可认为是直径不断增大的球面，由于能量守恒，在任意直径的球面上的能量是相同的，由于球面的面积不断的增大，所以单位面积的球面上能量一定是不断减小的。面积随着直径的平方增加，单位面积上的能量以相反的速率减小。

2. 1. 3 双线模型

实际中大部分的通信都发生在地球表面，所以自由空间损耗的假设是不符合实际的。双线模型，也叫平坦大地模型，是另一个简单的模型。该模型基于光学理论，把地面对电磁波的反射也考虑进来。同样的，它也假设视距和地球表面的传播路径中没有遮挡物。对于研究个人通信电波传播来说，双线模型是一个不错的出发点。它还常用来描述水面和开阔地面的电波传播。

从来源说，模型应该考虑三种电波：直线波，地面反射波，和表面波。其中表面波由于在地球表面几个波长以上就变的无足轻重，所以一般移动通信中是不考虑其影响。模型中将忽略其影响。

下面的表达式很容易从图 2. 1 所示的几何模型中计算出来。

$$\begin{aligned} d1 &= \sqrt{(h_{Tx} - h_{Rx})^2 + d^2} \\ d2 &= \sqrt{(h_{Tx} + h_{Rx})^2 + d^2} \\ \alpha &= \arctan \frac{h_{Tx} - h_{Rx}}{d} \end{aligned}$$

接收机处的直射波的功率从自由空间损耗公式计算得到：

$$P_{R1} = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d1} \right)^2 g_{Tx} g_{Rx}$$

地球表面反射波的功率也可以根据平面波反射定律计算得到[9, 4]。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/008130005017007006>