

论文题目：物联网中无线信道模型的分析

专 业：

学 生： 签 名：_____

指导老师： 签 名：_____

摘 要

物联网为了实现在任何时间和任何地点都可以连接到任何人和物品的目标，就必须确保信息在任何环境下的可靠传输。然而信息传输主要是通过无线传输和有线传输。相对而言，无线传输的成本廉价、适应性好、扩展性好、设备维护更容易实现。但无线信道是动态变化的，它的随机性和时变性很强，而天气、地型等很多因素都会影响信号的传输，致使信号发生衰落或者失真，因此要保证物联网无线信道中信息的可靠传输，我们必须对无线信道的特性进行研究。一般而言，根据不同的无线环境，接收信号服从瑞利分布和莱斯分布。

本文对物联网中的无线信道特性进行了系统的介绍，并对基于物联网市区环境中的 Rayleigh 分布和远郊条件下的 Rician 分布进行了理论分析，并对服从 Rayleigh 分布的 Clarke 模型、改进型 Clarke 模型以及服从 Rician 分布的改进型 Rician 模型进行了分析，最后利用仿真图验证了不同模型算法的性能。

【关键词】 物联网 瑞利信道 莱斯信道

【论文类型】 论文型

Title Analysis on Channel Model of the Internet of Things

Major:

Name : Signature: _____

Supervisor: Signature: _____

ABSTRACT

To achieve the target that the Internet of Things can connect to any people and any time and any place, we must ensure reliable data transmission in any environment. However, the method of information transmission is mainly through the wireless transmission and transmission. Relatively speaking, the cost of wireless transmission is cheap, good adaptability, and it is easy to implement equipment maintenance. Compared with the cable channel, wireless channel is dynamic, which has strong variability and randomness. However, the weather, and many other factors will affect the signal transmission, resulting in fading or distortion. Therefore, we must study the characteristics of the wireless channel to ensure the reliable transmission of information in the wireless channel of the Internet of things. In general, according to the different wireless environment, the received signal will obey Rayleigh distribution and Rician distribution.

In this thesis, the characteristics which exist in the wireless channel of the Internet of things were systematically introduced. Based on the Internet of Things, Rayleigh distribution under the urban environment and Rician distribution under the suburban conditions are analyzed in theory. The Clarke model and the improved Clarke model which obey the distribution of Rayleigh are analyzed theoretically, and the improved Rician model of Rician distribution is also analyzed. Finally, the performance is verified by simulation of different model algorithm.

【Key words】: Internet of Things Rayleigh Channel Rician Channel

【Type of Thesis】: Thesis type

目录

1 绪论	1
1.1 物联网的概况及现状	1
1.1.1 物联网的概念	1
1.1.2 物联网研究现状	1
1.2 物联网的体系结构	2
1.3 论文结构安排	3
2 无线信道传播模型	5
2.1 无线信道基本特性	5
2.1.1 无线信道概论	5
2.1.2 无线电波传播机制	5
2.1.3 无线信道的类型	6
2.1.4 无线信道的研究方法	7
2.2 自由空间的电波传播	8
2.3 大尺度衰落模型	9
2.3.1 路径损耗	9
2.3.2 阴影衰落	10
2.4 小尺度衰落模型	11
2.4.1 影响小尺度衰落的因素	11
2.4.2 无线信道参数	11
2.4.3 多径效应及其引起的衰落	16
2.4.4 多普勒效应及其引起的衰落	19
2.4.5 多径信道建模	21
2.5 噪声和干扰	22
2.5.1 无线信道中的噪声	22
2.5.2 无线信道中的干扰	22
2.6 小结	23
3 物联网市区环境中的衰落信道模型	24
3.1 Rayleigh 衰落分布	24
3.2 Clarke 模型	26
3.2.1 信道模型	26
3.2.2 仿真结果分析	28
3.3 改进型 Clarke	30
3.3.1 信道模型	30
3.3.2 仿真结果分析	31
3.4 其他模型	32

3.4.1 Jakes 模型	32
3.4.2 改进型 Jakes 模型.....	33
3.5 小结.....	33
4 物联网远郊环境中衰落信道模型	34
4.1 Rician 信道模型.....	34
4.1.1 信道模型.....	34
4.1.2 仿真结果分析.....	35
4.2 改进型 Rician 模型	37
4.2.1 信道模型.....	37
4.2.2 仿真结果分析.....	37
4.3 小结	38
5 结论	39
致谢	40
参考文献	41

1 绪 论

1.1 物联网的概况及现状

1.1.1 物联网的概念

物联网(Internet of Things, IOT)概念最早于 1999 年由麻省理工学院提出, 后来不同国家和行业的专业人士都从不同角度重新进行了诠释, 目前研究业界及产业界仍没有形成明确统一的定义, 总体来说, 主要包括狭义和广义两种。

狭义的物联网是指依托射频识别(RFID)技术的物流网络, 随着技术和应用的发展, 特别是随着传感器网络的出现, 很多学者认为物联网就是无线传感器网络, 或者是传感器网络和 RFID 的合称。但随着物联网在国内外就被更多行业所关注, 其内涵也获得了更大的范围的扩展。

广义的物联网是指在物理世界的客观实体部署具有一定感知能力、计算能力和执行能力的各种信息传感设备, 通过网络设施实现信息传输、协同和处理, 实现广域或大范围的人与物、物与物之间信息交换需求的互联、互通、互操作。物联网依托多种信息获取技术, 包括传感器、传感器网络、RFID、条形码、多媒体采集技术等。

《物联网白皮书(2011)》认为: 物联网是通过通信网和互联网的扩展应用和网络延伸, 它利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别, 通过网络传输互联, 进行计算、处理和知识挖掘, 实现人与物、物与物的信息交互和无缝连接, 达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。

1.1.2 物联网研究现状

目前, 信息技术正进入全民普及, 信息技术惠及大众将成为未来发展的主旋律, 而物联网技术被认为是继计算机、互联网之后信息产业的第三浪潮, 是通过物物互联实现感知世界的技术手段。物联网是在现有网络框架基础上的延伸, 数量庞大的物联网终端将实现范围更加广阔的空间。此处论述了美国、欧洲、日本、韩国等国家对物联网技术的认识、所开展的研究工作、着手开发的应用, 以及国家层面出台的相关支持政策。特别说明了我国在物联网技术与应用方面开展的技术研发工作和已经取得的成果。

1) 国外研究现状

从国际上看, 欧盟、美国、日韩等国都十分重视物联网的发展, 并且已做了大量研究开发和应用工作。如美国已把物联网作为重振经济的法宝, 所以非常重视互联网与物联网的发展, 其核心是利用信息通信技术来改变美国未来产业发展模式和结构, 改变政府、企业和人们的交互方式, 以提高效率、灵活性和响应速度。把信息通信技术充分应用到各行各业, 把传感器嵌入全球各个角落, 如电网、交通等物体上。利用网络和设备

来收集大量数据，通过云计算、数据仓库和人工智能技术做出分析并给出与之对应的解决方案。把人类智慧赋予万事万物。作为世界上科技强国之一的美国，在这次新的 IT 技术革命中，也与时俱进，仍想处于全球的领先地位，并提出了“智慧地球”。期间，政府给予了数百亿的财政支持，奥巴马上台后，变立即将 IBM 提出的“智慧地球”上升到美国的国家级战略高度，奥巴马政府认为物联网是化解危机，振兴经济，确立全球经济优势的关键战略。在欧盟方面，欧盟委员会一直希望能够主导未来物联网的发展，所以近几年也致力于鼓励和促进内部物联网产业的发展。2009 年欧盟委员会提出了“欧盟物联网行动计划”，其目的就是确保欧洲在构建物联网社会的过程中起主导作用。该行动计划描绘了物联网技术的未来应用前景，提出欧盟政府要加强对物联网的管理、个人数据保护和完善隐私、提高物联网的可信度、接受度和安全性等。在亚洲地区，日本和韩国等国也相继在 2004 年提出了泛在网战略，把物联网作为了国家科技的一项重要发展规划，并在构建物联网基础设施、研发物联网技术、发展物联网服务、营造物联网扩散环境等领域开展了详细的研究工作。

2) 国内研究现状

目前，我国的经济发展处于新的历史性阶段，处于工业化的中国还有一段漫长的路要走，在国际经济形势复杂的今天，经济全球化给予了中国更多的机会和挑战。为了在这种经济环境下成为经济强国，我国就必须大力推广和发展新兴产业，而物联网这种新型的产业已被我国列为战略性发展产业之一。在 2010 年，十一届全国人大三次会议上物联网产业的发展第一次被写进政府工作报告中，明确表示要加快物联网的研究与应用，加大投入和政策支持。党和国家领导人胡锦涛总书记、温家宝总理等多次强调要以国际视野个战略思维来选择和发展新兴战略性产业，要加强对物联网关键技术、传感网、传感器、RFID 等技术的研发，从而推动我国信息化产业的发展，使我国的信息化社会迈向一个新的台阶。

我国物联网相关技术的研究工作基本上与国际同步。国家自然科学基金、“863”、“973”等都对物联网产业给予了较多的支持，《国家中长期科技发展规划纲要（2006-2020）》在重大专项、优先主题、前沿技术三个层面均列入传感网的内容，正在实施的国家科技重大专项也将无线传感网作为主要方向之一，对若干关键技术领域与重要应用领域给予支持。现如今，我国在传感网技术、传感网网络技术、RFID、下一代无线通信技术、下一代互联网技术等多个方面经过了多年的发展和研发，已经取得了长足的进步。我国已成为国际传感网标准化的 4 大主导国（中国、美国、德国、韩国）之一，在制定国际标准中起着重要作用 [1]。

1.2 物联网的体系结构

根据信息生成、传输、处理和应用的过程，可以把物联网系统从结构上分为三层：感知层、网络层和应用层。在各层之间，信息不是单向传递的，也有交互或控制。在所传递的信息中，主要是物的信息，包括物的识别码、物的静态信息、物的动态识别码等。

1) 感知层

在感知层中，物联网的终端是多样性的，现实世界中越来越多的物理实体需要实现智能感知，这就涉及众多的技术层面。与物联网终端相关的多种技术中，核心是解决智能化，低功耗和小型化的问题。在感知层主要采用的设备是装备了各种类型传感器的传感网节点和其他短距离组网设备。一般这类设备的计算能力都有限，主要的功能和作用是完成信息采集和信号处理工作，这类设备中多采用嵌入式系统软件与之适应。

2) 网络层

物联网当然离不开网络。物联网的价值主要在于网，而不在于物。网络层是物联网的神经系统，负责将感知层获取的信息进行处理和传输。网络层是一个庞大的网络系统，用于整合和运行整个物联网。网络层包括接入网与互联网的融合网络、网络管理中心和信息处理中心等。接入网有现在的移动通信网、有线电视网等，通过接入网能将信息传入互联网。网络管理中心和信息处理中心是实现以数据为中心的物联网中枢，用于存储、查询、分析和处理感知层获取信息。

3) 应用层

应用层中包括各类用户界面显示设备以及其他管理设备等，这也是物联网系统结构的最高层。应用层根据用户的需求可以面向各类行业实际应用的管理平台和运行平台，并根据各种应用的特点集成相关的内容服务，如智能交通系统、环境监测系统、远程医疗系统、智能工业系统、智能农业系统、智能校园等。为了更好的提供准确的信息服务，在应用层必须结合行业应用模型，构建面向行实际应用的综合管理平台，以便完成更加精细和准确的智能化信息管理^[1]。

1.3 论文结构安排

本文共分为五章：

第一章：绪论。介绍了物联网的概念、物联网的发展现状以及物联网的基本体系。最后讲了论文的结构安排。

第二章：无线信道传播模型。介绍了无线信道基本特性、大尺度衰落模型、小尺度衰落模型以及无线信道的研究方法。

第三章：物联网市区的衰落信道模型。首先介绍了 Rayleigh 分布的特点，其次，通过理论和仿真图分析了针对瑞利衰落信道所设计的 Clarke 模型，并通过仿真图说明了改进型 Clarke 模型具有很好的独立性和实用性。

第四章：物联网郊区的衰落信道模型。首先介绍了 Rician 分布，并通过仿真图和数学推导说明了改进型 Rician 模型的独立和有效性。

第五章：结论。对本文进行整体概括，并提出论文的不足之处，需要在以后的进一步研究加以改善。

2 无线信道传播模型

物联网需要一个无处不在的通信网络，考虑到方便性（有线需要数据线连接）、信息基础设施的可用性（不是所有地方都有方便的固定接入能力）以及一些应用场景本身需要随时需要监控的目标就处在移动状态下，因此用无线信道来传输信息将是物联网最主要的接入手段之一。

2.1 无线信道基本特性

信道是指以传输媒质为基础的信号通道，它是任何一个通信系统不可或缺的组成部分。信道按照传输媒质的不同可分为有线信道和无线信道两类。无线信道不像有线信道那样固定并可预见，它易受到一些噪声，干扰等其它信道因素的影响，使得其具有极度的随机性，通常难以分析。

2.1.1 无线信道概论

在无线通信传输系统的组建中，无线信道的是其中的组成部分之一。按照电磁波传输的波长，我们可以把它分为视距传播、地波传播和天波传播。

1) 视距传播

视距传播（LOS propagation）是指在发射和接收天线之间能相互“看见”的距离内，电波直接从发射点传播到接收点（一般要包括地面的反射波）的一种传播方式。视距传播的距离一般为20~50Km，主要用于微波中继通信、甚高频和超高频广播、电视、雷达等业务。

2) 地波传播

无线电波沿着地球表面的传播称为地波传播，主要用于低频及甚低频远距离无线电导航、标准频率和时间信号的广播等业务，利用电离层可以用较短的波长以较多的信息容量和较小的功率来实现远距离通信。单纯用地表面波进行通信的范围受到了限制。但由于地表面波信号比较稳定，在长波和中波的广播、导航，以及短波及超短波的近距离通信中仍广泛使用。

3) 天波传播

自发射天线发出的电磁波，在高空被电离层反射回来到达接收点的传播方式称为天波传播，主要用于中、短波远距离广播、通信，船岸间航海移动通信，飞机地面间航空移动通信等业务。

2.1.2 无线电波传播机制

1) 电波的传播方式

在无线信道中，虽然电磁波的形式，但一般可归纳为直射、反射、绕射和散射 4 种

基本传播方式.

(1) 直射波

即没有障碍物的情况下，电磁波在视距范围内直接由基站到达移动台。这是一种较为理想的情况，更多情况下，尤其是在复杂的环境下，下面的这3种情况就都有可能发生，但其产生的机理都有所不同。

(2) 反射波

当障碍物的尺寸大于电磁波的波长时，电磁波就会在障碍物的前方发生反射。

(3) 绕射波

绕射波也称衍射波，是指，当电磁波遇到障碍物后，会绕过它，并在障碍物后方形成场强，绕射时，波的路径发生了改变或弯曲。

(4) 散射波

当电磁波遇到比较粗糙的表面时，反射能量会散布于所有方向，这样就形成了散射波。从物理学角度来说，如果界面凹凸不平，在凹(或凸)部分的尺度相对于波长很小时，发生波的反射；相对于波长较大或可比时则发生散射。

2) 接收信号的4种效应

(1) 阴影效应

当电波在传播路径上遇到起伏地形、建筑物等障碍物的阻挡时，在障碍物的后面产生传播半盲区，这种现象称为阴影效应。移动台在运动中通过不同的障碍物时，就构成接收天线处场强中值得变化，从而引起阴影衰落。

(2) 远近效应

由于移动用户距离基站有远有近，这样近处的用户信号就会对远处的用户信号产生抑制。

(3) 多径效应

由于用户所处位置的复杂性，到达移动台天线的信号不是由单一路径来的，而是由许多路径的众多的发射波的合成，也就是说，各路径之间可能产生自干扰，称这类自干扰为多径干扰或多径效应。

(4) 多普勒效应

多普勒效应是由于接受用户处于高速移动中，比如车载通信时传播频率的扩散而引起的，其扩散程度与用户的速度成正比。这一现象只产生在高速（ $\geq 70\text{km/h}$ ）车载通信时，而对于通常慢速移动的步行和准静态的室内通信则不考虑⁷¹。

2.1.3 无线信道的类型

在无线通信系统中，无线信道通常是利用信道的统计特性来分析的，一般来说整个

对信号产生的影响，可以分为以下三大类：

1) 传播路径损耗模型

路径传播损耗一般称为衰损，是指电波在空间传播所产生的损耗。它反映出传播在宏观大范围（千米量级）的空间距离上的接受信号电平平均值的变化趋势。一般来说，可以把接受信号的功率或者传播路径的损耗看做一个随机变量，而传播路径损耗模型是用来描述接收信号的平均损耗，平均功率会随着传播距离的增加而减少，而传播路径的损耗会随着传播距离的增加而增加。这种模型中较常使用的模型有：自由空间传播模型、对数距离传播模型、哈塔模型。

2) 大尺度传播模型

大尺度传播模型主要用于描述发射机与接收机之间长距离上的信号强度变化，主要探讨各类地形与地对传播信号所产生的遮蔽效应。大尺度传播中的衰落包括：信号经过一段距离时信号的平均衰落，大尺度衰落信号的平均功率是缓慢变化的。

3) 小尺度传播模型

小尺度传播模型用于描述短距离或短时间内接收信号强度的快速变化。包括：空间选择性快衰落、频率选择性快衰落与时间性选择快衰落。这里的选择性是指在不同的空间、不同的频率和不同的时间，其衰落特性是不一样的。

其中大尺度和小尺度两种模型不是相互独立的，在同一无线信道中，两种信道都是会存在的，如图2-1所示。

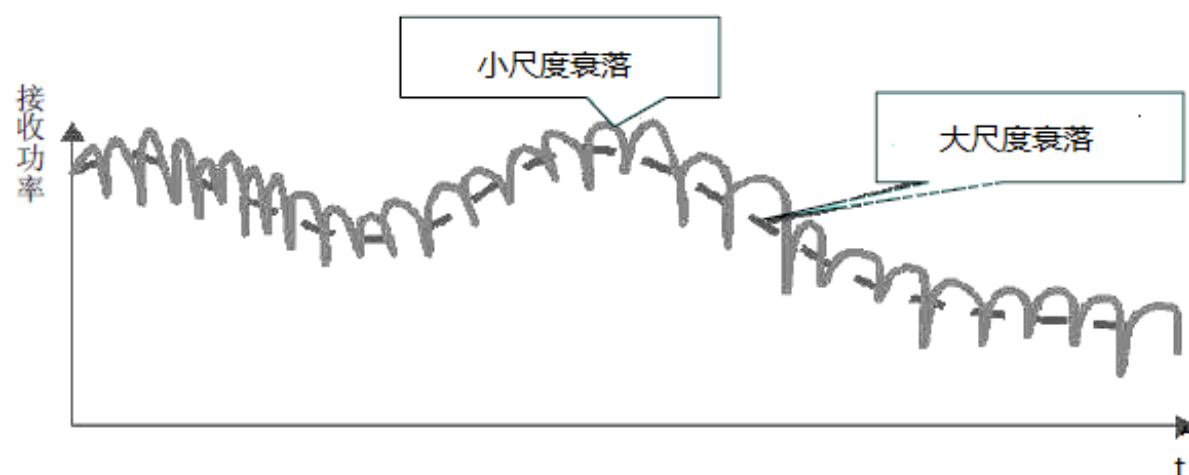


图 2-1 无线信道中的大尺度衰落和小尺度衰落

因此，在实际中，无线信道的衰落特性可用式（2-1）表示为

$$r(t) = m(t) r_0 t \quad (2-1)$$

式中 $r(t)$ 表示信道的衰落因子； $m(t)$ 表示大尺度衰落， $r_0 t$ 表示为小尺度衰落。

2.1.4 无线信道的研究方法

无线信道研究的基本方法有三种，分别是：

1) 理论分析，即利用电磁场理论或统计理论分析无线电波在无线信道中的传播特性，并用不同近似得出的数学模型来描述移动通信信道，其不足是数学模型往往过于简化导致应用范围受限；

2) 现场电波传播实测，通过在不同的电波传播环境中的实测实验，得出包括接收信号幅度、时延及其他反应信道特征的参数，其不足是费时费力且往往只针对某个特定传播环境；

3) 通过建立仿真模型，用计算机仿真来模拟各种无线电波传播环境。随着计算技术的发展，计算机仿真方法因能快速模拟出各种无线信道而得到越来越多的应用。

2.2 自由空间的电波传播

自由空间是一种理想状态，电波在均匀以及各项同性的介质空间中传播，在这个空间里，不存在反射、散射、折射以及吸收的情况，它只有电磁波因为扩散而引起的能量损耗。

假设在发射机处，发射功率为 P_t ，根据球面波辐射，接收功率是 P_r ，则

$$P_r = \frac{A_r}{4\pi d^2} P_t G_t \quad (2-2)$$

式中， $A_r = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi}$ ， λ 为工作波长； G_t 表示发射天线增益； G_r 表示接受天线增益， d 是发射与接受天线之间的距离。

自由空间的传播损耗 L 定义为

$$L = \frac{P_t}{P_r} \quad (2-3)$$

当 $G_t = G_r = 1$ 时，自由空间的传播损耗可写作

$$L = \frac{4\pi d^2}{\lambda^2} \quad (2-4)$$

若以分贝表示，则有

$$L_{dB} = 32.45 - 20\log f - 20\log d \quad (2-5)$$

式中， f 为工作频率，单位符号为MHz； d 为收发天线间距离，单位符号为km。

需要指出的是，根据上面的传播损耗公式中我们可以看到自由空间传播损耗与 d^2 成正比，这说明电波随着传输距离的增加，它的能量会因扩散而引起损耗。在实际中，

接收机接收的电波能量只是发射机发射电波能量的一小部分，其余大量的能量都在传输路径中损耗了。

2.3 大尺度衰落模型

在大尺度模型中，主要考虑由路径损耗和阴影效应所引起的接收信号功率随距离变化的规律，路径损耗引起长距离接收信号功率的变化，而阴影效应引起障碍物尺度距离上接收信号功率的变化。

2.3.1 路径损耗

大多数移动通信系统运行在复杂的传播环境中，路径损耗除了受频率、距离等确定因素的影响外，还会受到地形、地貌、建筑物及街道等不确定因素的影响。在实际中，常用的路径损耗有两类，一类是对数距离路径损耗模型，一类是电波传播损耗预测模型。一般来说，对数距离路径损耗模型是对不同的系统设计进行一般的优劣分析，而电波传播损耗预测模型是对涉及基站选址等无线系统设计和规划问题的处理。

电波传播损耗预测模型是基于大量实测数据而得到的经验模型，常用的模型包括奥村模型、哈塔模型、哈塔模型的 COST231 扩展等。其中奥村模型城市宏小区中信号预测最常用的模型之一，其适用的距离范围是 1~100km，频率范围是 150~1500MHz，该模型除了公式外，还包括一些经验曲线和图表。哈塔模型是将奥村模型中的经验曲线与图表拟合成更加便于工程上使用的经验公式，其适用的频率范围也基本是 150~1500MHz。而哈塔模型的 COST231 扩展时欧洲科技领域研究合作组织将哈塔模型扩展到 2GHz，以便适合个人通信系统。下面分别介绍哈塔模型和哈塔模型的 COST231 扩展。

1) 哈塔模型

哈塔模型 (Hata Model) 适用条件如下： f_c 为 150~1500MHz，基站天线有效高度 h_b 为 30~200m，移动台天线高度 h_m 为 1~10m，通信距离为 1~20km。

城市地区哈塔模型经验路径损耗的标准公式为

$$L_{50}(\text{urban}) = 69.55 + 26.16 \lg f_c + 13.82 \lg h_b + h_m - 44.9 - 6.55 \lg h_b - \lg d - K \quad (2-6)$$

式中。 $L_{50}(\text{urban})$ 为市区路径损耗，且为 dB 表示； f_c 为载波频率 (MHz)； h_b 、 h_m 分别为基站、移动台天线有效高度 (m)； d 为移动台与基站之间的距离 (Km)； h_m 为移动台天线高度的正因子 (dB)； K 为使用地区的环境修正系数 (dB)。

关于校正因子 h_m 的讨论如下：

(1) 对于中小城市，该因子由下式给出

$$h_m = 1.11 \lg f_c - 0.7 h_m - 1.56 \lg f_c - 0.8 \quad (2-7)$$

(2) 对于大城市，当发射信号的载波频率小于 300MHz 时， h_m 可表示为

$$h_m = 8.92 \lg 1.54 h_m^2 - 1.11 \lg f_c - 300 \text{ MHz} \quad (2-8)$$

若发射信号的载波频率大于 300MHz 时， h_m 则为

$$h_m = 3.2 \lg 11.75 h_m^2 - 4.97 \lg f_c - 300 \text{ MHz} \quad (2-9)$$

关于修正因子 K 的讨论如下：

(1) 对于市区 $K = 0$ (2-10)

(2) 对于郊区 $K = 2 \lg \frac{f_c}{28} - 5.4$ (2-11)

(3) 对于农村地区 $K = 4.78 \lg f_c^2 - 18.33 \lg f_c - 40.94$ (2-12)

2) Hata 模型扩展

欧洲科技领域研究合作组织成 COST231 工作开发 Hata 模型对 PCS 的扩展，提出将 Hata 模型扩展至 2GHz 频段，该模型的适合条件为： f_c 为 1500~2000MHz，基站的天线有效高度 h_b 为 30~200m，移动台天线高度 h_m 为 1~10m，通信距离为 1~20km。

其公式为

$$L_{50}(\text{urban}) = 46.3 + 33.9 \lg f_c - 13.82 \lg h_b - h_m + 44.9 - 6.55 \lg h_b - \lg d - C_M \quad (2-13)$$

式中， h_m 取值参见 (2-7)、(2-8)、(2-9) 而 C_M 为

$$C_M = \begin{cases} 0\text{dB} & \text{对于中等城市和郊区} \\ 3\text{dB} & \text{对于市中心繁华区} \end{cases} \quad (2-14)$$

2.3.2 阴影衰落

在路径损耗模型中，一般认为，对于相同的收发距离，路径损耗也是相同的。然而实际情况是，与同一发射机等距离但位于不同地理位置上的接收机，由于传播路径所经

过的地理环境不同，其接收到的信号强度有很多差异。通过路径损耗模型所计算的数值是所有可能路径所造成功率损耗的一个平均值或中间值，接收机实测与路径损耗模型预测之间的偏差则是由阴影衰落引起。

发射机和接收机之间的障碍物会引起阴影衰落，这些障碍物通过吸收、反射、散射和绕射等方式使给定距离处接收信号发生随机衰减。造成信号随机衰减的因素包括障碍物的位置、大小和介电特性及反射面和散射体的情况，一般都是未知的，因此只能用统计模型来表征这种随机衰减。经被实测数据证实，这种随机衰减呈现对数正态分布。

阴影衰落一般表示为电波传播距离 s 的 n 次幂与表示阴影损耗的正态对数分量的乘积。移动用户和基站之间的距离为 s 时，阴影衰落和传播路径损耗可以表示为^[7]：

$$L_s = L_0 + 10n \log_{10} \left(\frac{s}{s_0} \right) \quad (2-15)$$

2.4 小尺度衰落模型

2.4.1 影响小尺度衰落的因素

无线信道中的许多物理因素都会影响小尺度衰落，其中包括以下几个因素：

1) 多径效应。多径效应使得各条路径信号到达接收机时有不同的相位、幅度及时延，从而在时域引起时延扩展，在频域产生频率选择性衰落。

2) 多普勒效应。多普勒效应是与物体运动有关的，物体的运动包括基站和移动台的相对运动以及无线信道中环境物体的运动。由于移动台或环境物体的高速运动，在频域会引起多普勒频移，在相应的时域产生时间选择性衰落。

3) 信号的传输带宽。前面提到的频率选择性衰落和时间选择性衰落在信道中可以同时存在，至于哪种衰落更明显，则取决于信号的带宽和符号周期。因为衰落是表征信道对信号的影响，衰落类型取决于发送信号特性（如带宽和符号周期）及信道特性（如均方根时延扩展和多普勒扩展）之间的关系。

2.4.2 无线信道参数

由于多径环境和移动台运动等因素的影响，使得移动信道对传输信号在时间、频率造成了色散。用功率延迟分布描述无线信道的时间色散特性；多普勒功率谱密度用来说明无线信道的时变特性；定量描述这些色散时，常用一些特定参数来描述，即所谓多径信道的主要参数。

1) 时延扩展和相干带宽

时延扩展和相关带宽用来描述无线信道的时间色散参数，而信道的时间色散是由多径效应所引起的。

(1) 时延扩展

时延扩展是用来描述在时域上，由多径传播所造成的信号波形扩散效应。常用的时延扩展参数包括：平均附加时延、均方根时延扩展和附加时延扩展(X dB). 这些参数由功率延迟分布 p_k 来定义的。功率延迟分布式-----基于固定时延参数的附加时延 τ_k 的函数，通过对本地瞬时功率延迟分布取平均得到。

信道的平均附加时延定义为

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{k=1}^K \tau_k^2 p_k}{\sum_{k=1}^K p_k} \quad (2-16)$$

其中， τ_k 定义为第K条多径的衰落因子。

均方根时延扩展 σ_τ 定义为功率时延分布的二阶矩的平方根，表达式为：

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K \tau_k^4 p_k}{\sum_{k=1}^K p_k} - \bar{\tau}^2} \quad (2-17)$$

最大时延(XdB)扩展定义为，多径能量从初值衰落为到比最大能量低 XdB 处的时延。也就是说最大附加时延扩展定义为 $\tau_{x} - \tau_0$ ，其中 τ_0 是第一个到达信号的时刻， τ_x 是最大时延值，期间到达的多径分量不低于最大分量减去 XdB。实际上最大附加时延扩展定义了一个门限，一个高于此门限的多径分量的范围。

在市区环境中常将功率时延分布近似为指数分布，如图 2-2 所示。

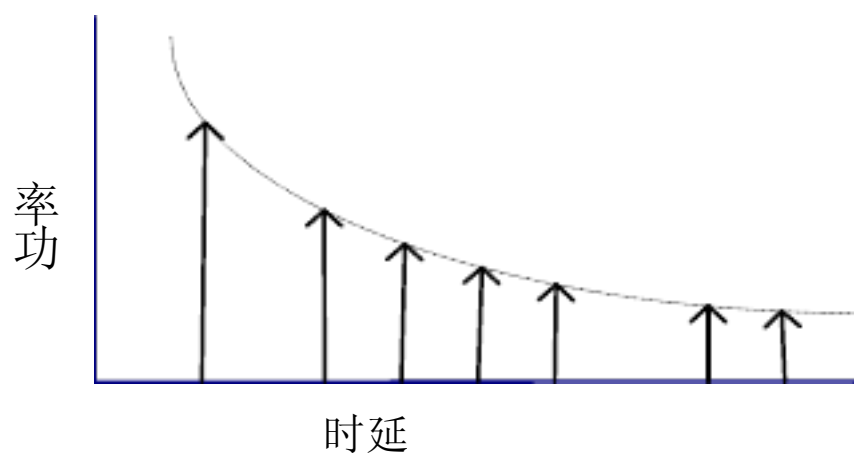


图 2-2 功率延迟分布示意图

它的指数分布为： $p = \frac{1}{T} e^{-\frac{\tau}{T}}$ 式中，T 是常数，它是一个平均值。

为了更直观地说明平均附加时延 和 rms 时延扩展 以及最大附加时延扩展（XdB）的概念，下图为典型的最强路径信号功率的归一化时延扩展谱。

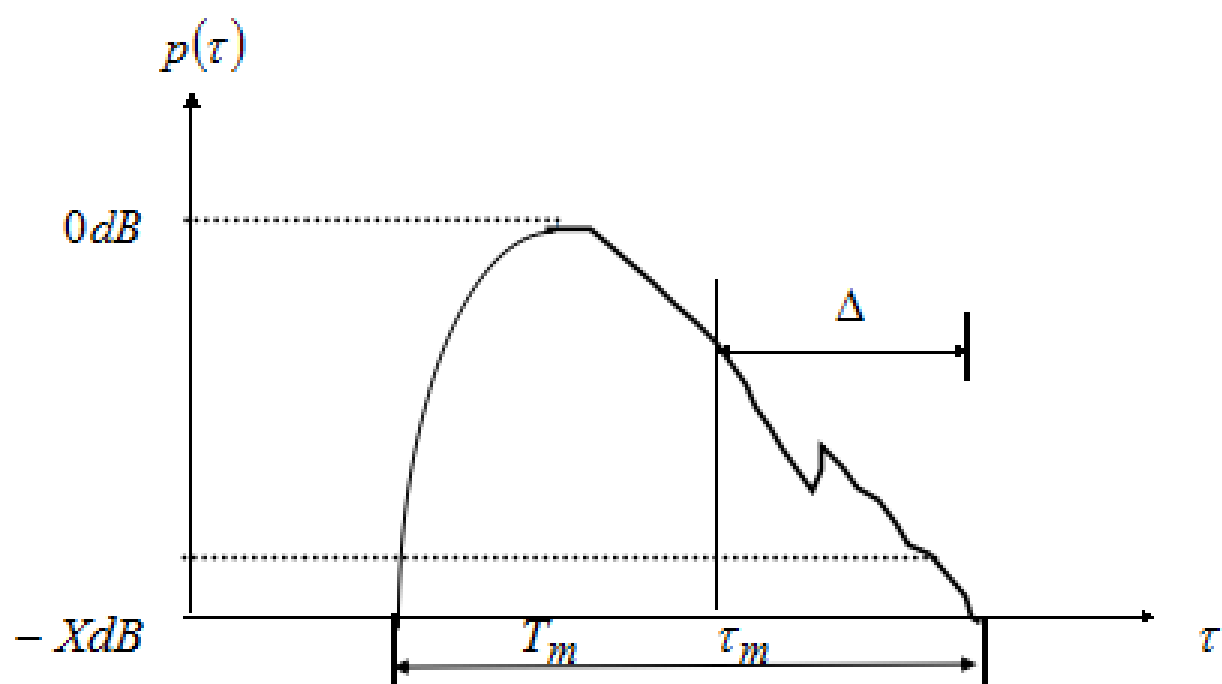


图 2-3 典型的归一化时延扩展谱

图 2-3 中， T_m 为归一化的最大附加时延扩展（XdB）； τ_m 为归一化平均附加时延； Δ 为归一化 rms 时延扩展 σ_r 。

（2）相干带宽

另一个反映信道频率特性的参数是相干带宽，相干带宽 B_c 表示包络相关度为某一特定值时的信号带宽。也就是说，当两个频率分量的频率间隔小于带宽 B_c 时，它们具有很强的幅度相关性，反之，当两个频率分量的频率间隔大于相关带宽 B_c 时，它们的幅度相关性很小。

相干带宽 B_c 可以由均方根时延扩展 来定义。如果相干带宽定义为频率相关函数大于 0.9 的某特定带宽，则相干带宽约为

$$B_c \approx \frac{1}{50} \quad (2-18)$$

如果将定义放宽至相关函数大于 0.5，则相干带宽约为

$$B_c \approx \frac{1}{5} \quad (2-19)$$

均方根时延扩展 是从时域上来观察信道的特性，相干带宽则是从频域上来观察的，两者之间是成反比的关系，均方根时延扩展越小（大）时，相干带宽越大（小）。这两个参数基本上都是由环境决定的，如果用户所处的环境不变，这两个参数基本上也不会随时间而变化；当然，当用户移动或是环境随时间而变化，这两个参数也会随时间而变化。

2) 多普勒扩展和相干时间

多普勒扩展和相关时间用来描述无线信道的时变特性，而信道的时变特性是由多普勒效应所引起的。产生这种时变特性是因为基站和移动台之间的相对运动造成的。

由于电波在传输途中，信道的特性发生变化，使得此时的信道有时间选择性衰落，而这种衰落会引起信号波形的失真。这种时间选择性衰落的产生是因为电波前端和电波末端的信道特性出现了变化引起的。如图2-4 所示

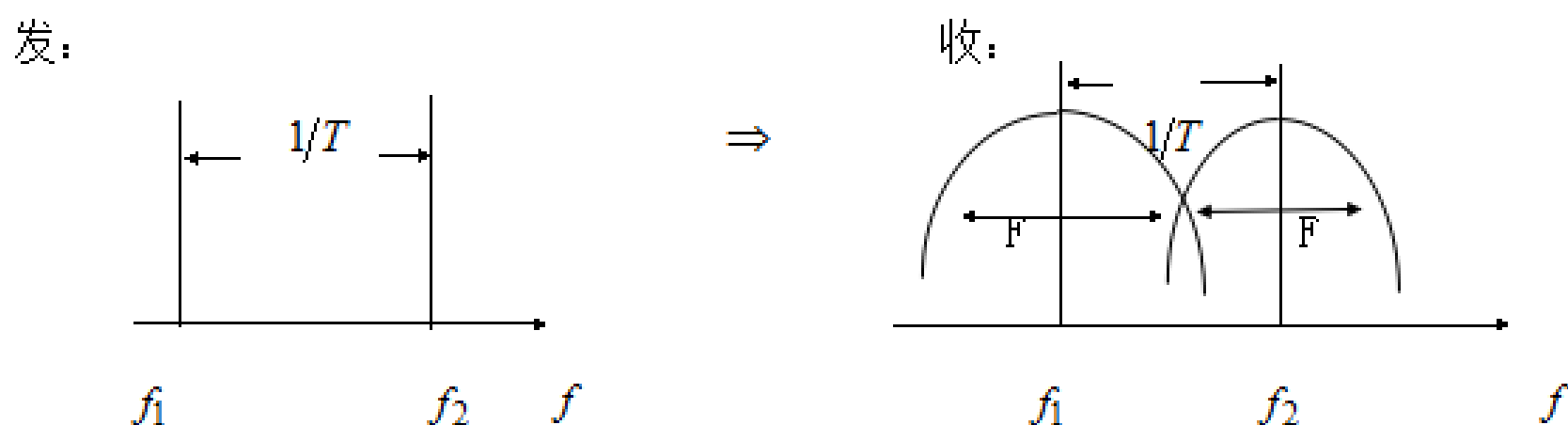


图 2-4 时间选择性衰落信道的变化

(1) 多普勒扩展

假设发射载频为 f_c ，而收信号时由许多经过多普勒频移的平面波的合成，即是由 N 个平面波合成的，当 N 时，接收天线在 $\sim d$ 角度内的入射功率趋于连续。

再假设 p d 表示在角度 $\sim d$ 内的入射功率， G 表示接收天线增益，则入射波在 $\sim d$ 内的入射功率， G 表示接收天线增益， b 为平均功率，则入射波在 $\sim d$ 内的功率为

$$b G P d \quad (2-20)$$

典型的多普勒功率谱为

$$S f = \frac{1}{\sqrt{f_m^2 - f^2}} \quad |f - f_c| < f_m \quad (2-21)$$

由于多普勒效应，接受信号的功率谱展宽到 $f_c - f_m$ 和 $f_c + f_m$ 范围了，如图 2-5 所示为多普勒扩展频谱，即多普勒频扩。

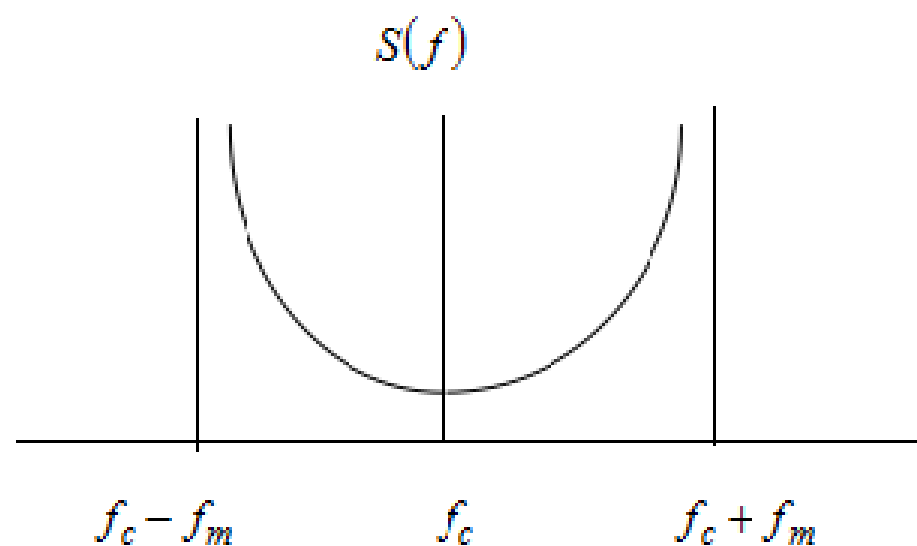


图 2-5 多普勒扩展功率谱

当我们运用多普勒频谱时，通常就要假设以下内容成立：

针对室外的传播信道，假设水平方位的天线方向图是均匀分布的。通常，在基站的那一边，收到的电磁波在水平方向是一个有限的范围。而对移动台来说，接收的大量电磁波会平均地处于移动台的水平方向，并且每个时延电波间隔是零度。这种情况的多普勒扩展由 (2-21) 表示，这种称为典型多普勒扩展。

针对室内传播信道，在基站这边，处于每个时延间隔内的收到的大量电磁波则均匀分布在水平以及仰角方向。假设这种天线为半波垂直极化或者是短波天线。那么天线增益则为 $G = 1.64$ 。这种情况的多普勒扩展由式 (2-22) 表示，称为平坦多普勒扩展。

$$S(f) = \frac{1}{2f_m} |f - f_c| \ll f_m \quad (2-22)$$

(2) 相干时间

相干时间是信道冲激响应维持不变的时间间隔的统计平均值。相干时间主要指有以一段时间间隔，而在这段间隔内，两个到达的电磁波信号拥有比较强的相关性，也就是说在这段相干时间里，无线信道的特性没有发生明显变化，通常，把因多普勒扩展在时间上引起的选择性衰落称为时间选择性衰落。

定义信道的相干时间为

$$T_c = \frac{1}{f_d} = \frac{1}{f_m} \quad (2-23)$$

式中 f_d 为多普勒扩展，即多普勒频移。入射波与移动台方向之间的夹角 $\theta = 0$ 时，上式

成立。

与讨论相干带宽的方法类似，如果将相干时间定义为信号包络相关度为 0.5 时，可推出

$$T_c = \frac{9}{16 f_m} \quad (2-24)$$

式中 f_m 为最大多普勒频移。

由相干时间的定义可知,时间间隔大于 T_c 的两个到达信号受到信道的影响各不相同。

例如，移动台的移动速度为 30 m/s, 信道的载频为 2GHz，则相关时间为 1ms。所以为了保证信号经过信道不会在时间轴上产生失真，就必须保证传输的符号速率大于 1kbit/s。

2.4.3 多径效应及其引起的衰落

1) 多径效应

分析信号经过了有多径效应现象的无线信道后，此接收信号的数学表达式。

首先，假设传输信号为未经过调制的载波，其表达式为

$$c(t) = A_0 \cos(2\pi f_c t) \quad (2-25)$$

上式中， A_0 为载波的幅度值， f_c 为载波频率。

经过信道的传输后，其接受到信号表达式为

$$y(t) = A_0 \operatorname{Re} \left[\sum_n a_n \exp(-j2\pi \frac{x_n}{c}) \exp(j2\pi f_c t) \right] \quad (2-26)$$

上式中 x_n 为第 n 条路径的长度，而 a_n 为反射系数， c 为光速。

上式中，信号的复包络模型 $\exp(-j2\pi f_c t)$ 的信道相应为

$$z(t) = \sum_n a_n \exp(-j2\pi \frac{x_n}{c}) \quad (2-27)$$

如果传输信号为已调制载波，那么它的表达式则为

$$c(t) = \operatorname{Re} [b(t) \exp(j2\pi f_c t)] \quad (2-28)$$

上式中 $b(t)$ 为调制前的信号， f_c 为载波频率。

当通过信道传输后，接受端的信号数学表达式为

$$y(t) = A_0 \operatorname{Re} \sum_n a_n \exp \left[j2\pi \frac{x_n}{c} \right] \exp \left[j2\pi f_c t \right] \quad (2-29)$$

该信号的复包络模型是

$$z(t) = \sum_n a_n \exp \left[j2\pi \frac{x_n}{c} \right] \quad (2-30)$$

令 $\tau_n = \frac{x_n}{c}$ ，从公式中，可以看出， τ_n 代表的为第 n 条路径到达移动台时信号分量时间延迟增量，则式 (2-30) 变为

$$z(t) = \sum_n a_n \exp \left[j2\pi f_c \tau_n \right] \exp \left[j2\pi f_c t \right] \quad (2-31)$$

由此可得，由于 a_n 是时变系数，所以即使输入信号为单频信号，它的输入端同样含有多频谱分量，从而引起频率的展宽。

2) 多径时延扩展引起的衰落

多径特性引起的时间色散，导致了发送信号产生平坦衰落或频率选择性衰落，如图 2-6 所示

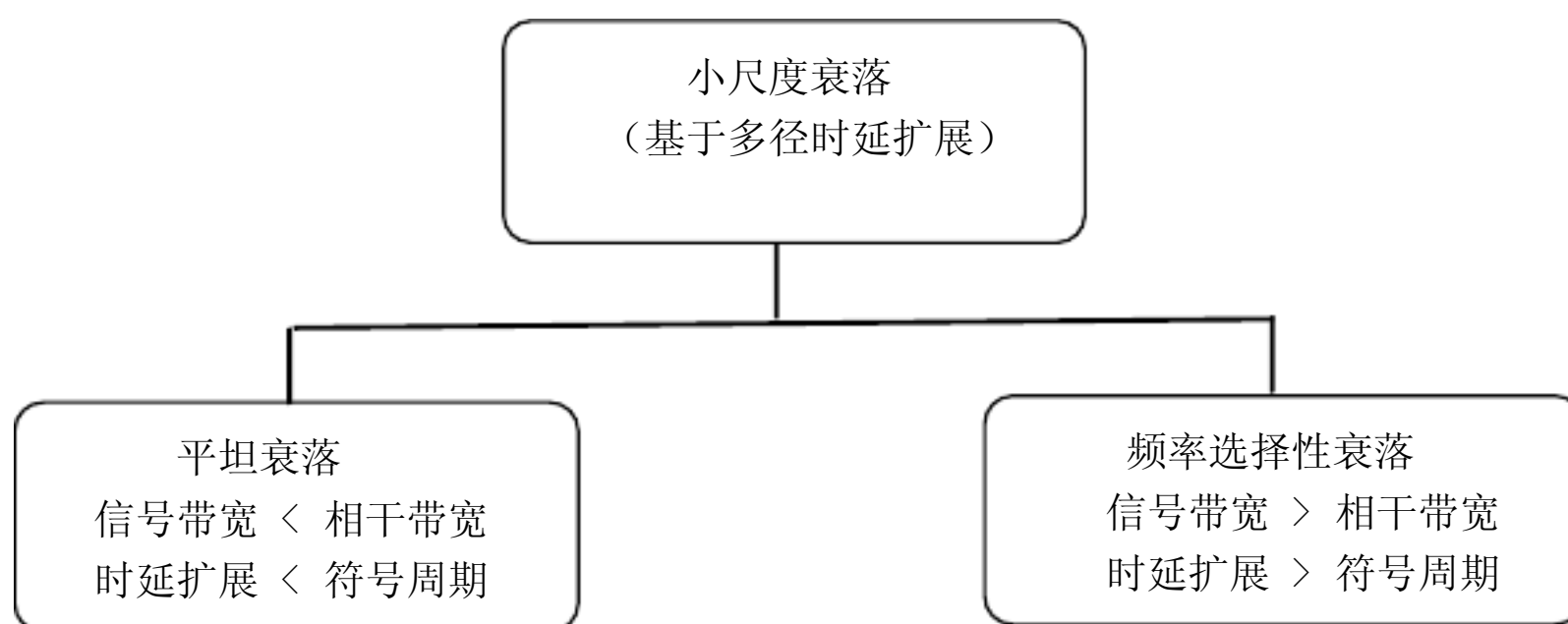


图 2-6 平坦衰落和频率选择性衰落的关系

(1) 平坦衰落

当发送的信号带宽小于信道的相干带宽时，信号通过信道传输后各频率分量的变化具有一致性，即信号在各频率的增益或是衰减几乎是一个常数，发生平坦衰落 (Flat Fading)。在时域上，信号的包络有可能经历快速而剧烈的变化，这是因为当发生平坦衰落时信号的时延扩展小于符号周期，到达接收机的多径信号时不可分辨 (Unresolvable) 的，研究表明，其通常服从瑞利分布，当存在一个固定的直射分量时，则服从莱斯分布。

平坦衰落信道对信号的影响如图 2-7 所示，其中 $s(t)$ 、 $r(t)$ 和 $h(t)$ 分别表示发送信号、接收信号和多径信道冲激响应，而 $S(f)$ 、 $R(f)$ 和 $H(f)$ 分别为其相应的频谱。

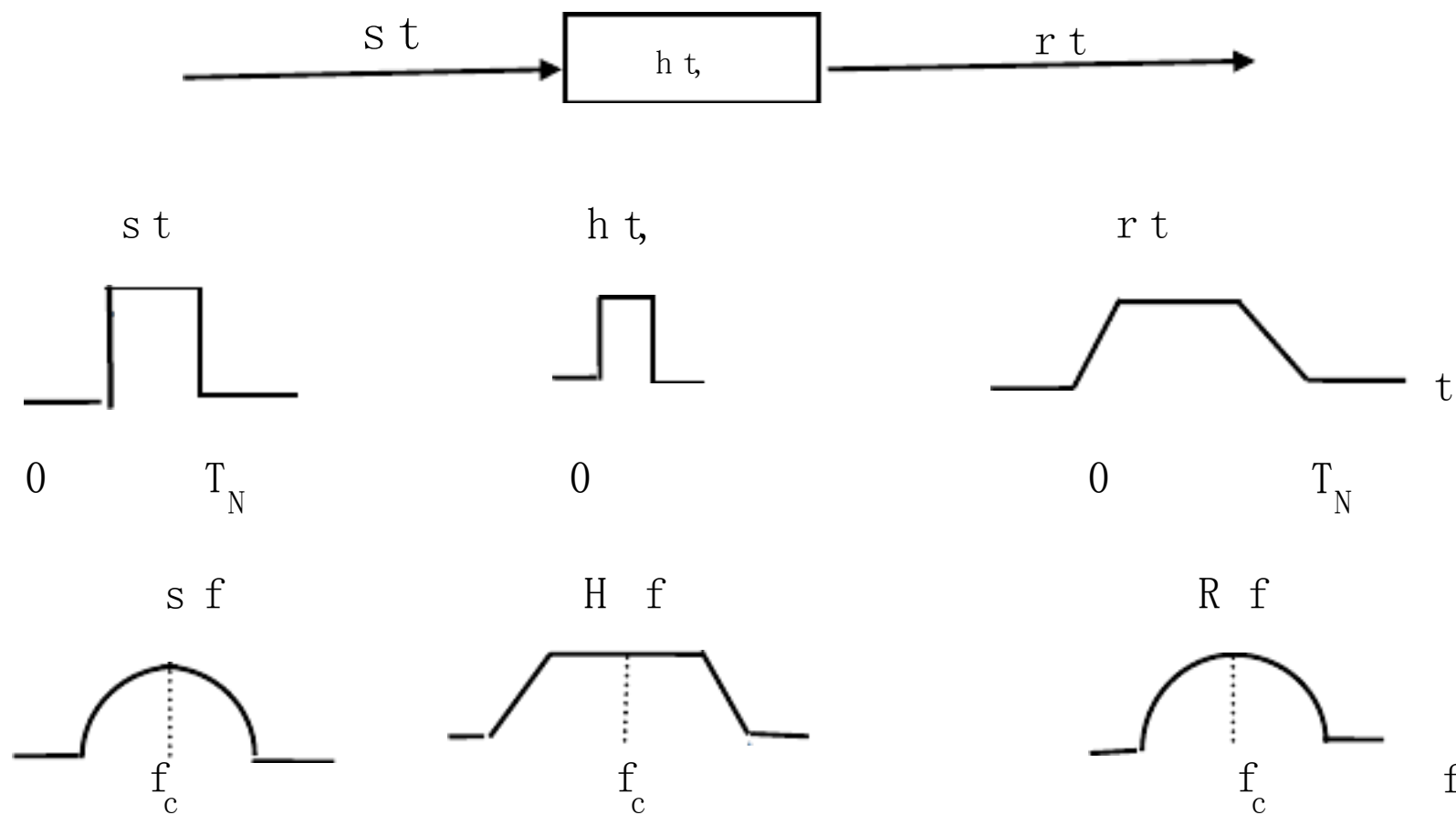


图 2-7 平坦衰落信道对信号的影响

由图 2-7 所示看出。如果增益随时间变化，则接收端信号会发生幅度变化。接收信号 $r(t)$ 增益随时间变化，但其发送时间的频谱特性仍保持不变。在平坦衰落信道中，发送信号带宽的倒数远大于信道的多径时延扩展， $h(t)$ 可近似认为无附加时延。最常见的幅度分布是瑞利分布。

(2) 频率选择性衰落

当发生的信号带宽大于信道的相干带宽时，信道对发送信号在不同频率的衰减是不尽相同的，发生频率选择性衰落。从时域上看，由于信道的时延扩展大于符号周期，多径传播使得在接收端形成数个可分辨的路径，这些多径将对后续脉冲造成干扰，称为码间干扰 (ISI)。频率选择性衰落信道对信号的影响如图 2-8 所示。

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/017154011021010006>