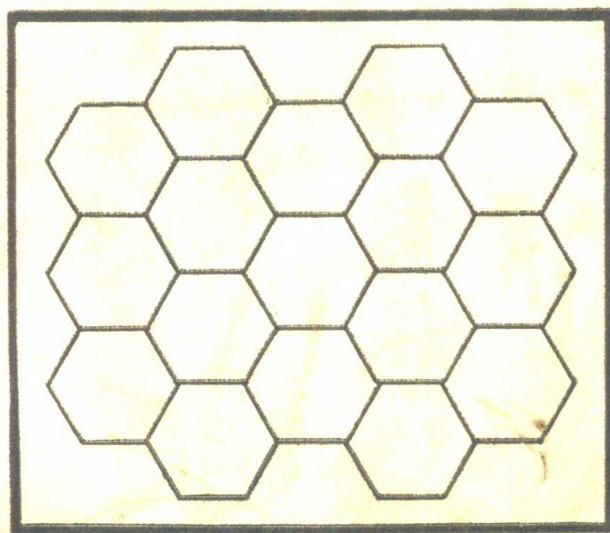


移动通信工程及组网

查光明 罗承烈 译
洪福明 编审



成都电讯工程学院

TN92

移动通信工程及组网

原著〔美〕W.C.Y.李

查光明 罗承烈 译

洪福明 编审

成都电讯工程学院出版社

• 1987 •

内 容 提 要

本书系统地介绍了组成移动通信网所需要的技术和理论,如:传播特点、调制方式、组网设计和系统性能等,并结合国外一些先进的移动通信实例进行了介绍。

全书内容比较新颖,反映了这一领域的发展成果,叙述简明扼要,并附有习题和参考文献,便于学习参考。

本书适用于从事移动通信的广大科技人员阅读和参考,尤宜作为高等学校通信专业师生的参考教材。

移动通信工程及组网

查光明 罗承烈 译

洪福明 编审

成都电讯工程学院出版社出版

四川省石油管理局印刷厂印刷

四川省新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 14.75 字数 372千字

版次 1987年6月第一版 印次 1987年6月第一次印刷

印数 1—4,800册

中国标准书号: ISBN 7—81016—000—1/TN·1

统一书号: 15452·15 定价: 3.50元

前 言

当前,我国移动通信的发展已形成一种势头,城市出租汽车的蓬勃发展,交通运输业的繁忙业务,都需要一种灵活、方便而迅速的通信手段。此外,在野外工作的林业、地质、石油和水文等部门,移动通信也是不可缺少的工具。所以,近年来,电子工业部门引进了各种型号的数量可观的移动电话电台,如何使这些电台发挥其最大作用,就成了当前的一个重要问题。

国内近几年曾出版了几本关于移动通信的小册子和一些教材,但这些书籍对解决正确设计一个移动通信网所需要的知识来说是远远不够的。我们看到了美国1982年出版的“移动通信工程”一书,此书作者W.C.Y.李从六十年代起就研究移动通信,可称为这方面的专家。该书对移动通信在传播与传输特点方面的分析特别透彻,并有许多实际线路引证。为此,我们对该书的一些主要内容加以选译,以介绍给国内读者。为了满足国内对移动通信组网的要求,我们还增编了一些有关设计的内容以及国外一些先进的移动通信系统实例介绍(如美国AMPS系统等)。

本书第一章对移动无线电信号传播的一些特点进行了重点介绍,对传播路径损耗、传播时延以及多径衰落现象的分析比较详尽。第二章和第三章则对不同地形的路径传播损耗进行分析和计算,并提出各种预测和模型。这些方法对设计计算移动通信网时取得工程数据是不可缺少的。由于原作者在这方面的丰富经验,使这部分资料具有较高的实际价值,这是国内其他有关移动通信的书籍所不具备的。第四章介绍了移动通信的调制技术,包括新型的移动通信用的数字调制技术。第五章为移动通信工程设计,内容包括电波极化对工程设计的影响和组网的一些技术,如多波道选址方式和信令方式等。第六章为干扰问题,移动通信中的干扰现象特别严重,本书对各种干扰现象进行了理论分析,这部分在设计网络时也是很重要的,因为干扰对网络性能的影响很大。第七章是信号差错分析与系统性能的关系,其内容根据移动通信环境下语音、信号、传播以及调制等特点对系统性能的影响进行分析,得出了一系列计算公式,这是工程计算中定量分析所必须的内容,也是其他有关移动通信书籍所缺少的。第八章集中介绍了各国先进的移动通信系统,内容包括专用网、公用网、无线呼叫、铁路列车、限定空间(如隧道)以及单边带移动通信系统等,使读者能掌握当前移动通信应用发展的动态。

原书的第一、三、四章和第八章的第三节由罗承烈同志翻译为本书的第一、二、三章和第四章的第三节;原书的第五、八、十二、十三、十四章由查光明同志翻译为本书的第四章的第一、二节和第五章的第一、二节以及第六、七两章。另外,在第五章中,洪福明同志编写了几节有关设计的内容,罗承烈同志编写了第八章。

在翻译过程中,对原书的个别错误作了改正。由于本书涉及面广,译者水平有限,译文中难免有讹误之处,如有不妥,谨请读者批评指正。

本书译稿及全书由洪福明教授进行了审校。

本书的翻译组织工作得到了四川省通信学会及四川省邮电管理局有关领导的大力支持,在此一并表示感谢。

编译者 1986年9月于成都

目 录

绪 论	(1)
第一章 移动无线电信号环境	
第一节 移动无线电通信的媒介	(5)
第二节 传播路径的损耗	(8)
第三节 由散射因素引起的多径衰落	(12)
第四节 热噪声和人为噪声的特性	(17)
第五节 传播时延	(22)
第六节 相干带宽	(25)
第七节 800MHz到900MHz范围内的多径衰落现象	(26)
第二章 平坦地域的路径损耗	
第一节 模型分析法预测路径损耗	(29)
第二节 平滑地形的传播损耗	(31)
第三节 粗糙地形的传播损耗	(34)
第四节 天线高度的影响	(38)
第五节 传播路径损耗的计算规则	(40)
第六节 预测传播路径损耗的模型	(42)
第三章 丘陵地带的路径损耗及一般预测方法	
第一节 典型分析为基础的路径损耗预测	(49)
第二节 绕射损耗	(54)
第三节 确定路径损耗斜率的步骤	(59)
第四节 路径余隙准则	(61)
第五节 场强预测	(62)
第六节 信号阈值的预测	(65)
第七节 信号覆盖区域的预测	(65)
第四章 调制技术	
第一节 系统应用	(69)
第二节 移动无线电中的调频	(69)
第三节 数字调制	(80)
第五章 移动通信工程设计	
第一节 在移动无线电环境中独立的电磁场	(87)
第二节 无线电波极化的影响	(90)
第三节 移动通信网的构成	(92)
第四节 多波道选址方式	(99)
第五节 信令方式	(104)

第六章 干扰问题

第一节 干扰的影响	(109)
第二节 同波道干扰	(109)
第三节 邻近波道干扰	(117)
第四节 近端对远端比干扰	(120)
第五节 交调干扰	(121)
第六节 码间干扰	(124)

第七章 信号差错分析、话音质量分析与系统性能的关系

第一节 系统和信号准则	(128)
第二节 信号错误的类型	(130)
第三节 M支路最大比合并器为基础的比特差错分析	(132)
第四节 衰落对字错误率的影响	(132)
第五节 依靠择多判决法减少误差	(134)
第六节 根据相关信号进行比特错误分析	(137)
第七节 随机调频引起的不能降低的差错率	(139)
第八节 频率选择性衰落引起的不能降低的差错率	(140)
第九节 非相干匹配滤波器接收机的差错概率	(141)
第十节 差分相干接收机的差错概率	(143)
第十一节 移动电话的话音特点	(147)
第十二节 决定系统等级的参数	(150)
第十三节 调频系统的话音处理	(151)
第十四节 调频系统性能的主观分析	(153)
第十五节 语音信号的数字处理	(157)

第八章 移动无线电通信系统

第一节 专用汽车无线电话系统	(159)
第二节 公用汽车无线电话系统	(181)
第三节 无线呼叫与携带电话系统	(192)
第四节 铁路列车无线电话系统	(204)
第五节 限定空间的移动无线电通信系统	(212)
第六节 单边带移动无线电通信系统	(221)

参考文献	(227)
------	-------

绪 论

用无线方式进行移动通信，由来已久。长期以来，虽然不断有所发展，然而总不象市内电话那样普及。随着社会的发展，社会活动的日益频繁，要求信息的传送快而及时，移动通信业务飞速增加，促使移动通信技术进行革新，以适应大规模发展的需要。

回顾一下历史，移动通信最早是在短波的几个频段上实现了警车、船舶等专用的简单移动通信系统。从四十年代后期到六十年代后期，各种用途的移动通信系统相继建立，在技术上实现了移动电话系统和公用电话网的连接，例如，1964年美国建立的IMTS系统，就已经实现了自动拨号交换和移动台信道的自动选择。这以后，随着用户数的不断增加，民用移动通信业务的服务部门不断扩大，出现了业务量、可用波道数目和频率资源有限之间的矛盾，而且矛盾越来越尖锐，这就迫切需要在开发新的频段、有效利用频谱和论证新的方案等方面进行大量的研究工作。我国虽然在移动通信方面的起点较低，但发展的势头较猛，需要增长迅速。移动通信系统新方案的研究和推广，应不甘落后，迎头赶上。本书将在阐述移动通信基本技术的基础上，介绍国外一些先进的移动通信系统以及国内移动通信设计的某些实例。

移动通信的特点

(1) 在移动通信（特别是陆上移动通信）中，由于移动台是在迅速移动之中，而导致接收信号的强度和相位随时间和地点而不断变化。受地形、地物的影响，由多径传播造成的瑞利衰落，其起伏幅度可达30dB以上，也即有严重的衰落。也由于运动中多径的变化，产生了附加的调幅和调相。建筑物的阴影效应还能造成阴影衰落。所以说，移动通信的电波传播条件是十分恶劣的，只有研究电波传播的规律，才能进行合理的系统设计。

(2) 由于移动台在移动中，所以在工作时还有多普勒频移产生，频移 Δf 的大小与移动体的运动速度有关，即

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{v}{c}$$

式中， c 为光速， v 为运动速度。如超音速飞机的速率很高，多普勒频移的影响就必须考虑。

(3) 移动台受到各种因素的干扰。当移动台工作时，在其近处有另一移动台工作，则有可能邻道干扰电场强度会比有用电场强度高得多。此外运动车辆的各类脉冲干扰（如发动机点火噪声等）比较大。因此，在系统设计时，应根据不同形式的干扰，采取不同的抗干扰措施。

(4) 移动台的位置随着运动状态而变，有时远离基台，有时靠近基台，要求接收设备具有很大的动态范围。

(5) 移动通信系统中，用户数和可利用波道数的矛盾特别严重，它既不能采用复用设备，也不能靠增加线路容量来解决此矛盾。为此，除开发新频段之外，还应采取各种有效利用频率的措施，如缩小波道间隔，多波道共用、频率重复使用等。频率拥挤问

题是影响移动通信发展的关键问题之一。

(6) 由于移动台可在整个通信区域内随机运动,当移动台发射机在不通话、处于关闭状态时,它与交换中心没有固定的联系。因此,要实现通信,交换中心首先应知道移动台所在的位置,以便决定由哪一个基台和该移动台建立联络并分配给它一个合适的波道。为此,需要采用所谓“位置登记”技术。另外,在通话过程中,移动台可能从一个无线区进入另一个无线区,为保持正常通话,需要随时监测电场降低影响质量的情况,并及时转换基台和通话信道,这称为通话中的“波道转换”。因此,在大容量移动通信系统中,需要采用复杂的“跟踪交换”技术。

(7) 对于军用移动通信系统,要考虑基台的高度机动灵活性,采用车载方式,根据需要可以随时转移。这样,基台和交换中心之间除了一般采用有线连接外,还应考虑采用微波信道进行连接。

从移动通信系统本身的用途来看可以分成下述几类。

(1) 公用移动电话通信系统:该系统能确保移动用户同市话或长途网的任何用户进行通话。

(2) 专用移动电话通信系统:这种系统能保证本部门或无外线的公用电话网业务的内部调度通信。

(3) 远距离信号设施:无论是调度系统(如失事、遇难等求救业务),还是公用电话网皆能保证应急无线电通信。

移动通信的工作方式

移动通信的工作方式按通话状态和频率使用方法可分为三类。

(1) 单工方式:指的是基台和移动台收、发之间使用同一工作频率进行工作,发话时只要按发话按钮,即可关掉接收机使发射机工作,放开按钮即恢复接收状态。在该方式中,同一部电台的收发信机是交替工作的,故收发信机可使用同一付天线,而不需要使用天线共用器,这种通信方式设备简单,功耗小,但操作不便。

(2) 半双工方式:在这种方式中,基台双工工作,即基台的收发信机使用两个频率同时工作,移动台是双频单工,收发频率不同,但它通常处于守听状态,仅在发话时才按压发话按钮,切断接收机而使发射机工作。因此称为半双工方式。这种方式的优点是:只要两个频率有足够间隔,并采用一定的收发隔离措施,就能避免发射机对接收机的干扰,故基台可以多波道工作。

(3) 双工方式:此方式中,基台、移动台都能双工工作,即任一方在发话的同时也能收听对方的语音,与普通市内电话的使用情况类似。

移动通信系统频段的使用

1980年我国国内频率划分表(修改稿)规定的移动通信频率和国际规定的相仿,其分配如下:

29.7~48.5MHz,	64.5~72.5MHz(与广播共用),
72.5~74.6MHz,	138~149.9MHz,
150.05~156.7625MHz,	156.8375~167MHz,
223~235MHz,	335.4~399.9MHz,

406~420MHz,
560~606MHz,
1427~1535MHz,
4400~4990MHz,

450~470MHz,
798~960MHz(与广播共用),
1668.4~2690MHz,
.....

移动通信系统的组成

移动通信系统一般由移动台、基台、交换中心(或终端)以及与市话网相连接的中继线等组成,如图0-1所示。

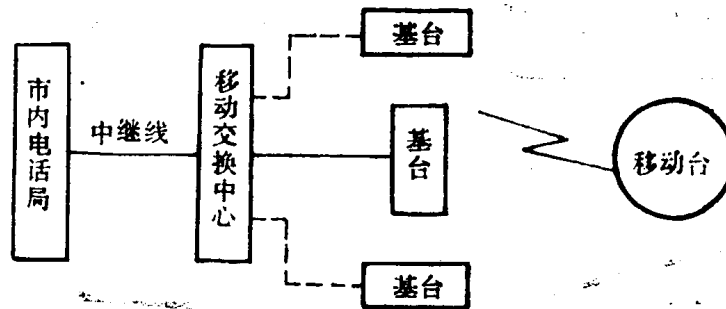


图 0-1 移动通信系统框图

大容量移动电话系统如美国的AMPS系统可以有基台很多个,甚至分布全国,构成移动通信网。小容量移动电话系统如加拿大的IMTS系统等只有一个或2个基台,用户数量较少。本书的最后将介绍具体的系统组成及其功能。

移动通信系统技术的发展和动向

移动通信系统总的发展趋向是朝着大容量、自动化、高速化、多功能、小型化和高可靠性方向发展,技术上围绕着提高频段的频率有效利用率方面进行,它包含着两方面的内容:提高单一信道的频谱有效利用,这包括缩小信道间隔和探索新的调制方式;提高多波道的波道有效利用。现将基本发展叙述如下:

(1) 开发新的无线电频段

在七十年代初使用450MHz频段的基础上,目前正在开发和使用800MHz频段。随着用户数的剧增,研究开拓新频段的移动通信将是一个重要课题。现国外已在研究1GHz以上频段的移动通信系统,并和卫星通信结合起来组成海上和空中等覆盖全球的卫星移动通信系统。

但随着频率的增高,地形和地物对电波传播的影响就愈大,使电波衰落增加。如采用高效率的分集技术和高增益天线,则开发利用更高的频段是有可能的。根据国外对试验50MHz~800MHz移动通信各频段范围的电波传播特性的测试数据可以了解到,噪声和远距离干扰对800MHz频段的电波传播都无影响,只是通信距离近了些,但由于采用小区组网,频率可以重复使用而又不形成干扰,因而传播距离近些就不是什么缺点。而450MHz频段的电波传播,在城市中心,噪声对它还有些影响,且450MHz频段比较拥挤,所以开发和使用800MHz频段是必然趋势。

(2) 无线电频谱的有效利用

国外移动通信的急剧发展,造成频率高度拥挤,虽已开发了不少新频段,但还满足不了日益增长的需要,但频段毕竟还是有限的,因此提高无线电频谱的有效利用率就成

为移动通信技术的主要研究课题之一。这一课题所探索的方向有下述几方面。

波道窄带化：频道间隔从目前的20kHz~25kHz的窄带调频进一步缩窄到10kHz~12.5kHz的超窄带调频（SBFM）。波道窄带化必须解决：①提高接收机选择性的方法；②克服由于频偏减小而引起的调频解调增益的降低；③高频率稳定度的振荡电路；④降低邻波道杂散干扰等技术。

单边带调制方式过去一直用于短波无线电通信，它没有被甚高频或超高频移动通信所采用。由于现代技术使单边带设备的成本降低，因而在信道窄带化的情况下有条件将占有频带最窄的单边带调制方式引入到VHF和UHF移动通信中。

无线电小区化：无线电小区化是构成空间领域有效利用信道的技术，以达到频率重复使用的目的。小区化技术将在第五章中介绍。

多波道选址方式：为了提高信道利用率以增加用户量，在一个无线区中共用多个无线电信道，它也可称为信道分配技术，其目的是要按需分配话音信道和加快选通速度，它是构成从时间领域里提高频道利用率的有效方法。

（3）新的调制技术的研究

目前移动通信中还是以调频或调相的频分多址（FDMA）系统为主，每个载波传输一路信道（SCPC），而话音调制方式大都为窄带调频（NBFM）。为了在频谱有效利用的前提下传输更优质的信息，将研究新的调制技术。其中尤以数字调制应用到移动通信系统中的前景最为宽广。数字调制技术具有抗干扰能力强、话音间隔噪音小、易于保密、通信可靠等优点，但也存在频带较宽及码间串扰等问题。在移动通信中实现话音数字调制技术必须满足：①带宽的有效利用率要高，要找到一种带宽不大于现有16kHz的规定值，且邻近信道（25kHz）的寄生辐射不应超过-70dB；②在移动通信传输信道恶劣（衰落严重和多径延时干扰）的情况下也要保持有良好的载噪比（C/N）和误码率的关系。从而能实现低功率传输和具有重复使用信道的能力；③使用非线性功率放大器时不影响频谱。

满足以上要求的调制技术，国外发展了两类改进型的PSK和FSK的调制解调技术。第一类是相位规律受限的正交移相键控（QPSK）和相移 $\pi/4$ 的正交移相键控。另一类是具有低调制指数的连续相位移频键控，如最小频移键控（MSK），正弦移频键控（SFSK），受控调频（TFM）和高斯频谱受控最小移频键控（GMSK）等调制解调技术。

（4）多功能

目前移动通信中传输的信息大多是话音信号，但随着业务的发展，要求移动通信具有多种功能，引入数据通信、传真、电视电话等业务。并要求能与各种类型的通信网联接在一起，扩大移动通信系统的服务范围。

（5）微处理器的应用

随着大规模集成电路的发展和应用，目前在移动通信设备中普遍采用了微处理器，不仅移动台中，基台和移动交换控制中心的逻辑单元都是以微处理器为基础设计的，由于采用了微处理器，各种信令的控制程序做到了既快速又准确，进一步推动了移动通信系统的发展。

第一章 移动无线电信号环境

第一节 移动无线电通信的媒介

移动无线电基台发射的无线电信号,不仅存在大气传播中的有效传播路径损耗,而且还存在地面传播影响的路径损耗。地面传播损耗,受地形影响很大。通常移动台天线的高度很接近地平线,这种移动天线就成为附加传播路径损耗原因之一。通常,地面结构和粗糙度将损耗传播能量,使移动台接收的信号强度减弱。将上述的地面传播损耗与自由空间损耗叠加在一起,就构成了无线电信号传播的路径损耗。

移动无线电信号也受各种类型的散射和多径现象(能引起信号衰减的某种现象)的影响,而多径现象可归因于移动无线电通信的媒介。移动无线电信号的衰落受长期衰落和短期衰落的双重影响。这种衰落按统计方法划分,并在下一章叙述。典型的长期衰落,是在传播路径上由于地形有较小范围的变化所引起的。典型的短期衰落是由于各种类型的信号散射体的反射(既有静止的、又有移动的)所引起的,可把这种衰落看成是多径衰落。

在移动台和基台之间的信号传播最易受多径衰落现象的影响,因为所有通信过程基本上是在地平线上进行的。多径现象的影响,在空间到地面,如卫星到地面站的通信中是不重要的,因为传播角度不同,排除了许多类型的干扰,而这些干扰是由自然地貌和建筑物引起的。空间到地面的通信,主要关心的是由于通信飞行器有较高飞行速度而产生的多普勒(Doppler)效应。卫星到地面站的通信,主要考虑以下三点:一是空间直接路径损耗;二是上下行信号长距离传输产生的延迟时间;三是地面站天线的自动跟踪卫星系统和对方位角控制精度。

一般地说,从基台发出的信号强度,在离基台径向路线不同点上所测得的值,随距离的增加而减小。假设,信号强度的测量可这样进行,让移动台以定速沿径向路线背离基台移动,同时监测和记录移动台接收的信号。那么,为了得到一个典型的基台无线电全区域覆盖的统计分析数据的读数,必须在许多不同径向路线上进行重复的测量。事实上,要获得信号强度测量的理想条件是困难的。因为必须利用现有的道路,而在沿路行进时,有影响行进速度的交通情况,还有必要的停车等。要在移动无线电服务区域内得到最佳接收信号,基台天线和移动台天线都必须安装在沿传播路径的最高可能处。然而,即使在最佳条件下,通常也还有山脉、树林、建筑物以及其他移动车辆等,都将对移动无线电信号的传播起不利的影响。

接收信号的瞬时信号强度 $s(t)$ 与时间 t 的典型关系曲线见图1-1(a),对于路程 x ,起始时间 t ,对应于观察点 x_1 。如果移动台的速度 v 在记录期间内保持常数,那么用时间刻度记录的 $s(t)$ 可简单地变换为用距离刻度的 $s(x)$,此处 $x=vt$ 。但是,若移动台的速度在记录期间内是变化的,则 $s(t)$ 是速度的函数,为了得到一个正确的表示形式,在

图1-1(b)中, 用 $s(x)$ 代替 $s(t)$ 。这个瞬时接收信号强度 $s(x)$ 与距离 (从基台到特定线路的距离) 的曲线图可用来计算沿特定路线的路径损耗 (虽然此曲线是从野外测得的原始数据)。

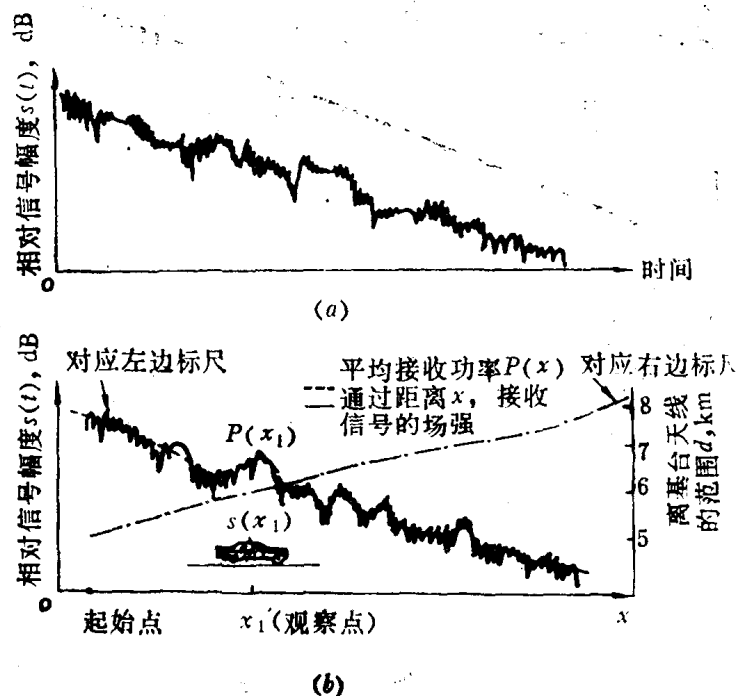


图 1-1 典型记录数据

(a) 按时间刻度表示的 $s(t)$

(b) 按距离刻度表示的 $s(x)$

例 1—1 当移动台相对于基台天线运动时, 从记录的信号数据描述出的 $s(t)$ 曲线见图1-2, 它是相应于时间刻度上的移动台的实际速度。图中记录了移动台的五种不同速度 (T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 段 v 分别为 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5) 及一次停止 (T_0 段 $v=0$) 情况。

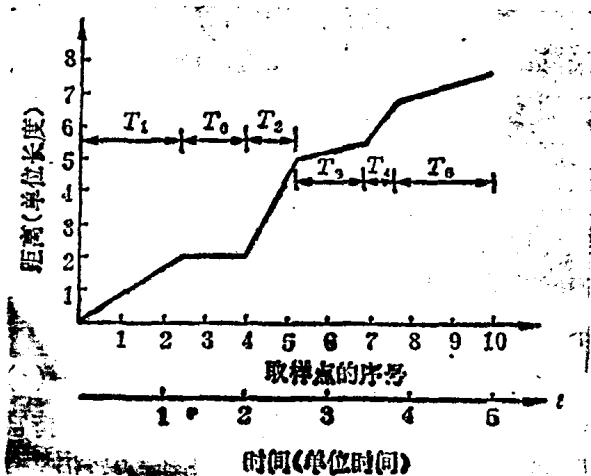


图 1-2 移动台的移动距离和时间曲线

y 轴表示在任何已知时间内移动台沿 x 方向离基台天线的距离。从图中可见,移动台的速度在进行测量的全程内不是常数。

若以 x 轴表示距离, y 轴表示时间,将得出不同的曲线见图1-3。这是因为每个取样

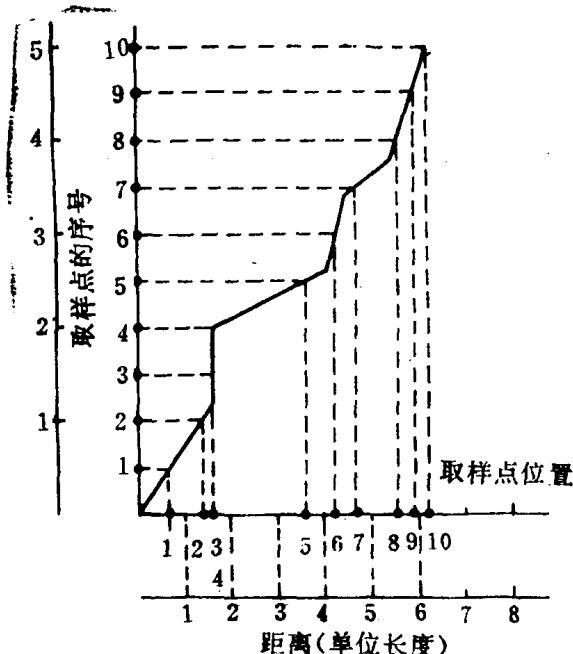


图 1-3 由时间系统变换到距离系统

传播路径损耗,将在下一章详述。

在移动无线电通信环境中,移动台有时处于运动状态,有时处于静止状态。当移动台运动时,它以不同的速率向不同的方向运动。当移动台沿某一路径前进时,它要遇到各种类型的散射体包括运动中的大量车辆。沿路这些散射体的存在,使无线电信号环境经常变化,从而使移动台信号产生散射、反射或被吸收。这些情况形成的多径信号,导致在不同的时间和空间到达接收天线的信号的离散性质。当这种多径效应发生时,信号将产生时延,引起信号模糊,这种现象叫做“传播时延”。当具有不同传播时延的两个相隔很近的信号到达接收点时,将使这两个信号产生统计性能上的微弱相关。把频率间具有相关性强的最大频率差,称为移动无线电传播路径的“相干带宽”。其相关性可以根据频率分布和地理分隔,通过分配频率通道来加以避免。传播时延和相干带宽在本章第五、六节中分别讨论。

例 1—2 在移动速度 $v(t)$ 连续改变进行数据取样的条件下,数据取样点从时间系统到空间系统,可能出现速率的扩展或压缩。在这种情况下,首先需要通过有关方程,求得移动车辆的平均速度

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{\sum_{i=1}^N T_i}$$

点的平均场强是在一定距离间隔内测量的。合成曲线表明,以距离作刻度的分布是不平滑的,因而在确定距离间隔时,应使在该距离间隔下记录的场强,应与移动台速度和运动特性保持一致。

当移动台沿路径 x 从起始点移动时,在移动台的接收机上就记录下测量的结果,如图 1-1 (b) 所示,图中虚线表示移动台记录的平均功率与距离的关系,或 $P(x)$ 与特定路径的关系。实际上,在距离 x_1 点的平均接收功率 $P(x_1)$,可以通过离基台某一距离间隔内所测量记录的瞬时信号强度的平均值来得到。用来计算平均接收功率和确定在各种各样的径向距离下,沿某一路径的

式中 $\sum_{i=1}^N D_i$ 是总距离, $\sum_{i=1}^N T_i$ 是 N 个间隔的总时间。单个车辆的速度 v_i 为

$$v_i = \frac{D_i}{T_i} = \frac{d_i - d_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

比值 δ 定义如下:

$$\delta = \frac{\bar{v}}{v_i}$$

若 $\delta = \bar{v}/v_i > 1$, 则数据取样速率被扩展, 若 $\delta = \bar{v}/v_i < 1$, 则数据取样速率被压缩。图 1-4 示出 δ (车辆速度 $\bar{v}$ 和 v_i 的比值) 曲线。

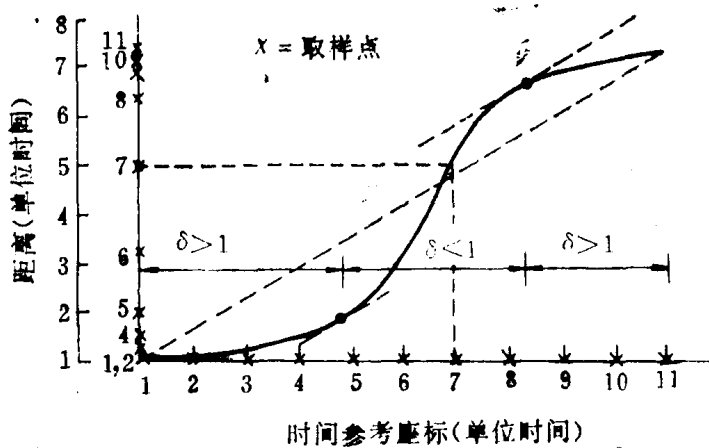


图 1-4 δ (车辆速度 $\bar{v}$ 和 v_i 的比值) 曲线

第二节 传播路径的损耗

移动无线电传播损耗, 主要是由于地形影响以及移动无线电传播环境内, 沿路径存在着无线电波散射体的缘故。地形外貌和粗糙度的变化 (包括任意散射体的存在) 造成镜面反射、漫反射和绕射等结果, 引起传播变化。

当无线电波碰到两个不同媒质之间的平坦分界面, 并且分界面的长度远大于辐射信号的波长时, 将发生镜面反射。这种类型的反射, 正如斯奈尔 (Snell) 定律定义的那

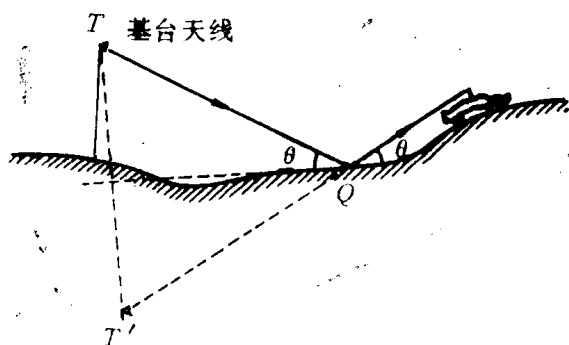
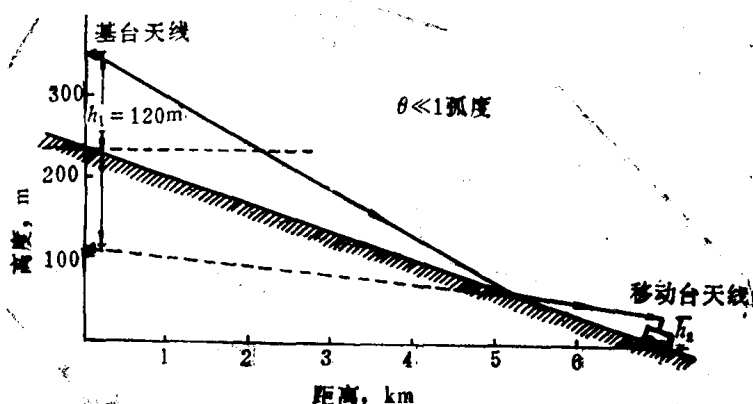


图 1-5 斯奈尔定律的应用

样, 与镜子的成象类似。镜面反射应用成象原理的情况, 如图 1-5 所示。图中点 Q 反射的反射波, 基本上是天线的入射波的反射波。这可以被认为是虚构的天线 T' 的辐射, 而且是没有折射的通过分界面。

在一些实例中, 天线高度和地面的海拔高度与发射天线和接收天

例 1—3 图1-6示出用成象方法求典型倾斜面反射点参量，这一方法用在传播路径比天线高度要大得多的情况。在绘制的图中，垂直标度与水平标度的比例通常小于0.1，反射点可用图1-6中的数据近似表示。



高度, m

P坐标系

$\theta_{p1} = 18^\circ$

687.4m

343.7m

100m

1km

x

328.8m

120m

0

343.7

$X_1 = 1000 \tan \theta_{p1} = 328.8\text{m}$

$P = \sqrt{X_1^2 + 100^2} = 343.7\text{m}$

$\theta_p = \text{从比例图表中测出的真实角度}$

$X = 1000 \tan \theta_p$

$X_1 = 1000 \tan \theta_{p1} = 328.8\text{m}$

$P = \sqrt{X_1^2 + 100^2} = 343.7\text{m}$

200

100

1 2 3 4 5 6

距离, km

P坐标系

343.7m

$\theta = 18^\circ$

40m

40m

图 1-7 在斜面上精确确定反射点的标度法

比例大于0.1。此法先把天线高度标度变换成矢量 P 标度，然后再应用图1-6所示的成象方法。

图1-8表示当垂直标度与水平标度的比例比0.1大得多时，在一个倾斜面上求反射点的简单方法。该方法采用下述两个步骤。

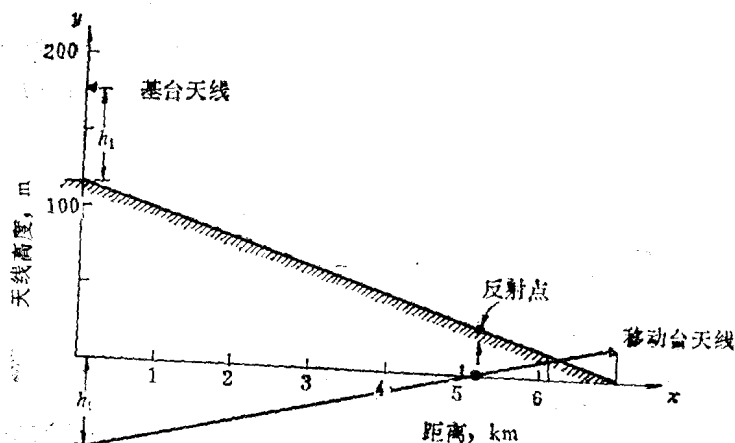


图 1-8 在斜面上求反射点的简单方法

步骤一 沿负 y 轴找到一点，此点等于基站天线在地面上的高度 h_1 。将此点与移动台天线连一条直线，此直线与水平轴（ x 轴）相交于 x_1 点。

步骤二 过水平轴上的交点 x_1 作垂线，该垂线穿越斜面得截点，这截点就是反射点。

无线电波碰到粗糙表面时(其粗糙度可与辐射信号的波长相比拟)就会产生漫反射。它与镜面反射不同(镜面反射遵循斯奈尔法则)，漫反射将散射能量，并使被反射的无线电波产生一个发散的路径。哈根(Huygen)原理可用来解释漫反射的性能。一般漫反射无线电波的强度小于镜面反射无线电波的强度，这归因于沿粗糙表面的路径上能量的散射。在考虑移动通信环境时，必须评价移动台和基台之间地形的反射性能。分析移动无线电环境反射特性的准则在第三章讨论。

在无线电通信中，当只存在镜面反射和漫反射时，我们认为已满足视线条件，而漫反射是由于传播路径的散射。但是，如果由于地形的改变，在传播路径中出现了阻挡情况，无线电波将产生绕射现象。这时，对移动无线电传播仍认为符合视线条件，这是因为对视线的定义与在对流层传播中的视线定义不同。

当发射天线和接收天线之间插入镜面地形而使传播路径出现阻挡时，会产生无线电波的绕射。这时，绕射对无线电波产生衰减的严重程度，取决于障碍物是否穿过电波的传播路径，障碍物是否进入视线的传播路径，或是否接近视线的传播路径。事实上不可能全都选择传播路径中的最高点作为基台的理想位置。在山区，即使基台的位置有利，仍然经常发生移动台在传播路径的视线以外的情况，如图1-9所示。根据刀刃状绕射模型，确定这种传播路径损耗的计算在第三章叙述。

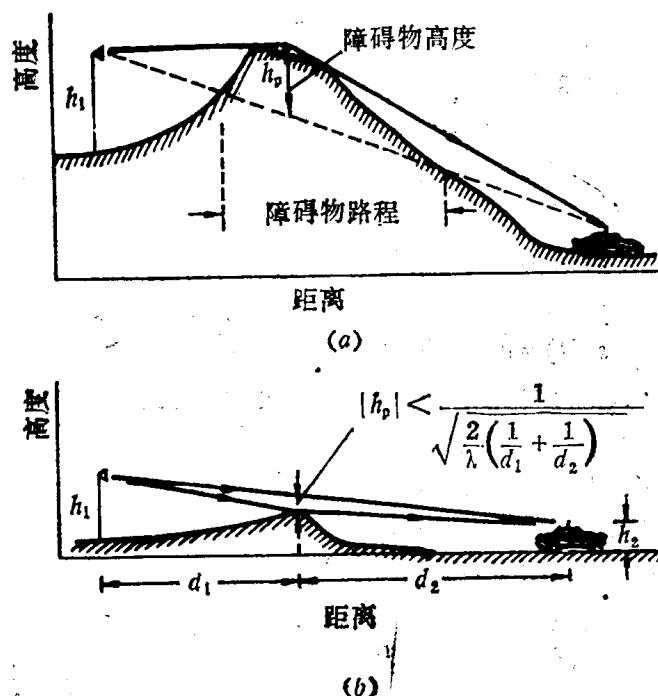


图 1-9 传播路径的绕射
(a)视线外 (b)视线内

前面叙述了传播路径损耗的各种情况和公式，在了解多径现象对移动无线电信号的影响方面是有益的。但是，所有这些影响的总和，会推导出对实际应用来说是十分复杂的，要解许多变量的数学关系式。这里推荐一种求解的近似方法，它是解析分析和统计分析的结合。首先要从所得的测量数据中获得统计结果，再分析特定情况下的参量和标准，然后根据电磁场理论得出一定的分析结论。这种预测传播路径损耗的方法，是一种可能比使用分析方法或统计解析方法得出的结果，都更接近真正的路径损耗的一种有效方法。利用沿所选择路径上的某几点的测量和记录数据，来估计给定区域内的传播路径损耗。

图1-1(b)中的虚线，表示平均接收功率与基台距离（沿给定路线）的关系曲线。这些数据常用于计算传播路径损耗（相对于径向距离）。为了分析一般覆盖区域内径向距离传播路径损耗的斜率，对该区域内的许多路线都应记录数据。

移动无线电环境传播路径损耗的斜率，比自由空间路径损耗 $[L_0 = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2]$ 通常要大，山区路径损耗比平坦地区要大。分析传播路径损耗方面的有关问题，将在第二、三章中详述。