# 无线通信基础

## 无线电通信概述

空间、电磁波

横

v=λf

（1）无线电波（2）红外线（3）可见光（4）紫外线（5）X射线（6）γ射线

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频段名称 | 频率范围 | 波段名称 |
| 甚低频（VLF） | 3Hz ~ 30KHz | 超长波 |
| 低频（LF） | 30KHz ~ 300KHz | 长波 |
| 中频（MF） | 300KHz ~ 3MHz | 中波 |
| 高频（HF） | 3MHz ~ 30MHz | 短波 |
| 甚高频（VHF） | 30MHz ~ 300MHz | 超短波 |
| 特高频（UHF） | 300MHz ~ 3GHz | 分米波、微波 |
| 超高频（SHF） | 3GHz ~ 30GHz | 厘米波 |
| 极高频（EHF） | 30GHz ~ 300GHz | 毫米波 |

## 无线电波的传播特性

地表波、天波、空间波

长中

电离层、短

对流层、长途微波传输、移动通信

直射传播、反射传播、折射传播、绕射传播、散射传播

视距传播

大于

几何形状

小

6

增强、减弱

缓慢起伏、快速起伏

阴影效应、大气折射

多径衰落

幅度、频率选择性

瑞利、莱斯

时延拓展

符号间干扰

中等起伏地形、不规则地形、中等起伏地形

（1）开阔地（2）郊区（3）市区

纵向、横向

多普勒频移

（1）多径效应：在移动通信环境下，由于移动台处于移动状态，而且移动台所发射的电波在传输过程中不断受到建筑物、树木或者起伏地形的影响，因此到达接收天线的电波包括直射波以及来自各种物体的反射波。它们各自的传播路径不同，故在接收天线处产生相互干涉，使接收天线所接收到的场强矢量、振幅和相位随时间剧烈变化，这使信号很不稳定，这种现象称为多径效应（2）阴影效应：阴影效应是指当电波在空间中传播遇到起伏的地形、建筑物、树林等障碍物时，在障碍物的后面形成电波的阴影区，从而造成接收信号场强中值缓慢变化（3）远近效应：当两个移动台距离基站的距离不同，却以相同的功率发送信号时，基站接收到的来自远端移动台的有用信号将可能淹没在近端移动台所发送的有用信号之中。这种由于发送点位置不同，而使得发信机与基站之间的路径损耗不同而引起的接收效果下降的现象被成远近效应

（1）进行频率分配时，应尽量增大同一频道组的频率间隔以提高隔离度（2）可采用扩频技术，以提高系统的抗干扰能力（3）使移动台发信机能够根据其与基站的距离自动调节发射功率，从而减少近端对远端的干扰比（4）在移动台和基站设计中，应尽可能降低发射机寄生辐射，提高接收及中频滤波器的带外抑制能力

## 无线收发信机

（1）信源----基带电路----调制|振荡器----高功放（2）信源----基带电路----调制|振荡器1----中放----上行混频|振荡器2----高功放

信源----基带电路----解调|振荡器1----中放----下行混频|振荡器2----选频率电路

## 天线与馈线

方向性、增益、极化方式、输入阻抗、工作带宽

全向、方向性

方向性角

天线最强辐射方向的天线辐射方向图强度与参考天线的强度比

dBi、dBd

50Ω、75Ω

水平极化、垂直极化、圆极化

天线主瓣方向、水平面

机械方式、电子下倾

行波状态、驻波状态、行驻波状态

## 噪声与干扰

外部噪声、内部噪声

（1）交调干扰（2）互调干扰（3）邻道干扰（4）同频干扰（5）镜像干扰

# 无线通信关键技术

## 调制技术

调幅（AM）、调频（FM）、调相（PM）、幅移键控（ASK）、频移键控（FSK）、相移键控（PSK）

45°、135°、225°、315°

相干解调方式、相对四相调制（DQPSK）

幅度、相位

## 双工与多址技术

单工、双工

频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）、码分多址（CDMA）

## 抗干扰和抗衰落技术

自动请求重发（ARQ）、前向纠错（FEC）、混合纠错（HEC）

均衡通过均衡滤波器的作用，增强小振幅的频率分量并衰减大振幅的频率分量，从而获取平坦的接收频率响应和线性相位，以消除频率选择性失真

分散传输、集中处理

宏分集、微分集

慢、快

（1）空间分集（2）频率分集（3）极化分集（4）场分量分集（5）角度分集（6）时间分集

（1）选择式合并（2）最大比值合并（3）等增益合并

（1）抗干扰和抗衰落、抗阻塞能力强（2）采用码分多址通信时，频谱利用率高（3）信号功率谱密度很低，有利于信号的隐蔽

直接扩频、调频

处理增益

扩频码、调频集

Rake接收机是一种能分离多径信号并有效合并多径信号能量的接收机

（1）降低干扰（2）扩大容量（3）削弱“远近效应”的影响（4）降低功控的要求

空间分集、空间复用

（1）提高信道的容量（2）提高信道的可靠性

基本原理是将信号分割成N个子信号，然后用N个子信号分别调制N个相互正交的子载波。由于子载波的频谱相互重叠，因而可以得到较高的频谱效率

（1）频谱效率高（2）带宽拓展性强（3）抗多径衰落（4）频谱资源灵活分配（5）实现MIMO技术较简单

## 近距离无线通信技术应用

（1）电子标签（2）读写器（3）RFID中间件（4）应用软件

主机系统

（1）低功耗（2）成本低（3）时延短（4）网络容量大（5）可靠（6）安全

（1）无线电的覆盖范围广（2）WIFI技术的无线传输速率非常快（3）门槛比较低

可见光通信

# 移动性管理基础

## 网络选择/小区选择和重选

移动台（MS）、基站子系统（BSS）、网络子系统（NSS）；基站子系统：基站收发信机（BTS）、基站控制器（BSC）；网络子系统：移动交换中心（MSC）、操作维护中心（OMC）、归属位置寄存器（HLR）、拜访位置寄存器（VLR）、鉴权中心（AUC）、设备识别寄存器（EIR）

广播控制信道（BCCH）、小区选择

BCCH、系统消息、寻呼信息、位置区识别码（LAI）、公共控制信道（CCCH）

存储列表式、普通式

## 位置更新

MS、HLR、VLR、MS

（1）MS选择新的小区作为服务小区（2）在附着/分离功能打开的条件下，MS重新开机后发现当前的位置与SIM卡中所存储的LAI不一致（3）周期性位置更新

## 鉴权与加密

设备识别码（IMEI）、EIR

（1）白名单（2）黑名单（3）灰名单

A3、A8、随机数（RAND）、符号响应（SRES）、加密键（Kc）

## 切换控制

（1）邻小区提供更好的链路（2）当前的链路质量非常差或TA太大

BSS内部切换、外部切换；BSS内部切换：小区内切换、同基站内小区间切换；小区内切换：同一个无线载频的业务信道之间的切换、不同的无线载频之间的切换；外部切换：相同MSC不同BSC间的切换、不同MSC间的切换；不同MSC间的切换：基本切换、后续切换

# WCDMA移动通信系统

## WCDMA网络结构

宽带直扩码分多址（DS-CDMA）、正交可变扩频码（OVSF）、3.84Mchips/s

Gold码

自适应多速率（AMR）

卷积编码、Turbo编码

移动设备（ME）、通用用户识别模块（USIM）

（1）系统信息管理（2）移动性管理（3）无线资源管理和控制

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名称 | 接口位置 | 协议 |
| Iu | CN-UTRAN | RANAP |
| Iur | RNC-RNC | RASAP |
| Iub | RNC-NodeB | NBAP |
| Uu | NodeB-UE | WCDMA |

## WCDMA空中接口

无线帧、10ms、38400chips、15、2560、2/3

扩频因子

（1）透明模式（TM）（2）非确认模式（UM）（3）确认模式（AM）

## WCDMA网络中的编号计划

CS、PS、广播域（BC）、IMS域、业务区（SA）

VLR、SGSN

## WCDMA系统中的切换

软切换、更软切换、硬切换

更软切换发生在同一个NodeB范围内，分集信号在NodeB做最大增益合并；软切换发生在2个NodeB之间，分集信号在RNC做选择合并

同频、异频、异系统

## WCDMA系统安全

（1）TMSI的使用（2）系统中用户与网络的相互鉴权（3）空中接口信令数据的完整性保护（4）空中接口数据的加密

TMSI、P-TMSI

（1）RAND随机数（2）XRES网络方希望移动台给出的响应（3）AUTN鉴权参数（4）CK加密键（5）IK完整性保护键

（1）加密键的生成（2）加密算法的实现（3）用户数据的加密（4）信令的加密

# TD-SCDMA移动通信系统

# cdma2000移动通信系统

# LTE移动通信系统

## 概述

定义一个高效的空中接口

1.4、3、5、10、15、20MHz

5

空闲状态、激活状态、等待状态

（1）只支持分组交换的结构（2）完全共享的无线信道

## LTE的系统结构

（1）EPC - Evolved Packet Core 演进的分组核心（2）MME - Mobility Management Entity 移动管理实体（3）S-GW - Serving Gateway entities 服务网关实体（4）P-GW - PDN GW 分组交换网关（5）PCRF - Policy and Charging Rules Function 策略和计费规则实体（6）HSS - Home Subscriber Server 归属用户寄存器（7）UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network 通用陆地无线接入网

全IP分布式

（1）无线资源管理（RRM）方面包括无线承载控制、无线接纳控制、连接移动性控制和UE的上、下行动态资源分配（2）用户数据流的IP头压缩和加密（3）当终端附着时选择MME，无路由信息利用时，可以根据UE提供的信息来间接确定到达MME的路径（4）路由用户平面数据到S-GW（5）调度和传输寻呼信息（6）调度和传输广播信息（7）用于移动和调度的测量和测量报告的配置

无线网络层、传输网络层

（1）MME（2）S-GW（3）P-GW（4）PCRF（5）HSS

LTE网元及网元间的接口

（1）安全管理（2）会话管理（3）空闲状态的终端管理

（1）NAS信令的加密和完整性保护（2）在3GPP访问网络之间移动时，CN节点之间的信令传输（3）在空闲状态下的移动性控制（4）P-GW和S-GW的选择（5）MME选择，MME改变带来的切换（6）切换到2G或者3G访问网络的SGSN选择（7）漫游（8）承载管理，包括专用承载建立等

（1）3GPP的移动性管理，建立移动安全机制（2）在E-UTRA的IDLE模式下，下行分组缓冲和网络初始化（3）授权侦听（4）分组路由和前向转移（5）在UE和PDN间、运营商之间交换用户和QoS类别标识的有关计费信息

（1）用户的分组过滤（2）授权侦听（3）UE的IP地址分配（4）上、下行服务管理和计费（5）基于总最大速率的下行速率控制

策略控制的主要功能是决定如何使用可用的资源，计费规则实体主要负责用户的计费信息管理

HSS是3G和LTE的核心节点，主要存储用户的注册信息，由HLR和AUC组成。HLR中主要存储所管辖用户的签约数据及移动用户的位置信息，可为至终端的呼叫提供路由信息。AUC存储用以保护移动用户通信不受侵犯的必要信息

## LTE的空中接口

控制平面、用户平面、信令信息、语音和数据、物理层、数据链路层、网络层、MAC子层、RLC子层、PDCP子层、BMC子层

（1）传输信道的错误检测并向高层提供指示（2）FEC编解码（3）混合自动重传请求（HARQ）及软合并实现（4）传输信道与物理信道之间的速率匹配和映射（5）物理信道的功率控制（6）物理信道的调制/解调（7）频率和时间同步（8）无线特性测量并向高层提供指示（9）MIMO天线处理（10）传输分集（11）波束赋形（12）射频处理

（1）下行传输信道：广播信道（BCH）、下行共享信道（DL-SCH）、寻呼信道（PCH）、多播信道（MCH）（2）上行传输信道：上行共享信道（UL-SCH）、随机接入信道（RACH）

（1）逻辑信道与传输信道之间的映射（2）RLF PDU的复用与解复用（3）业务量测量与上报（4）通过HRAQ对数据传送进行错误纠正（5）同一个UE不同逻辑信道之间的优先级管理（6）通过动态调度进行的UE之间的优先级管理（7）传输格式选择（8）逻辑信道优先级管理

控制信道、业务信道

FDD、TDD

（1）类型1：1个10ms的无线帧分为10个子帧20个时隙（2）类型2：1个10ms的无线帧被分为2个5ms的半帧。每个半帧分为7个子帧，每个子帧为0.675ms。导频和保护周期包括下行导频时隙（DwPTS）、保护周期（GP）和上行导频时隙（UpPTS）

（1）下行物理信道：物理广播信道（PBCH）、物理格式控制信道（PCFICH）、物理下行控制信道（PDCCH）、物理混合自动请求重传指示信道（PHICH）、物理多播信道（PMCH）、物理下行共享信道（PDSCH）（2）上行物理信道：物理上行控制信道（PUCCH）、物理随机接入信道（PRACH）、物理上行共享信道（PUSCH）

UE、PDCCH

## 上下行物理层传输

时隙

常规循环前缀、扩展循环前缀、7、6

子载波

OFDM

资源块

## LTE系统基本过程

（1）小区搜索（2）随机接入过程（3）寻呼（4）跟踪区域更新

（1）获得与一个小区的频率和符号同步（2）获得该小区的帧定时，决定下行链路帧的开始点（3）决定该小区的物理层小区标识

同步过程、主同步信号（PSS）、辅同步信号（SSS）

504、3

基于冲突的随机接入、基于非冲突的随机接入、随机接入前导

核心网、eNodeB

跟踪区（TA）、TA码（TAC）、TA、TAI、TA、TAI、MCC、MNC、TAC

# 下一代移动通信系统

## 下一代移动通信系统的需求

（1）增强移动宽带业务（eMBB）（2）超可靠低延时通信业务（uRLLC）（3）海量机器通信业务（mMTC）

（1）峰值速率（2）用户体验速率（3）频谱效率（4）移动性（5）无线时延（6）连接密度（7）能量效率（8）单位面积容量

（1）连续广覆盖（2）热点高容量（3）低功耗、大连接（4）低时延、高可靠

## 下一代移动通信系统网络结构

物理资源、资源版本

（1）物理资源的“抽象”（2）多个用户间的“共享”

云计算、虚拟化技术

（1）基础设施层（NFVI）（2）虚拟层（VL）（3）虚拟网络功能实现层（VNF）

业务网络域、管理编排域

虚拟化设施管理器（VIM）、VNF管理器（VNFM）、NFV编排器（NFVO）

控制面、数据面

基础设施层、控制层、应用层

应用编程接口API、OpenFlow指令集

高宽带、低时延、海量连接数量

网络切片

## 下一代移动通信系统的关键技术

无线技术、网络技术

6、6、100

（1）大规模MIMO在发射侧需要准确的信道状态信息（CSI）（2）大规模MIMO对多小区多层网络设计的影响。其中一个问题是导频污染的影响

（1）大气损耗，特别是水蒸气和氧气（2）雨衰（3）寄生损耗（4）绕射损耗

（1）多流中继（2）非正交多址接入（3）缓存辅助的中继

新空口、4G演进空口

# 微波与卫星通信系统

## 微波通信

300MHz~300GHz、特高频、超高频、极高频

视距、中继、微波中继通信

（1）数字微波中继通信（2）卫星通信（3）光纤通信

传播余隙

氧气分子和水蒸气分子对电磁波的吸收、雨雾雪等气象粒子对电磁波的吸收和散射、对流层结构的不均匀性对电磁波的折射、10GHz、10GHz

（2）微波传播具有视距传播特性（2）微波传播有损耗，在远距离通信时有必要采用中继方式对信号逐段接收、放大和传送

（1）通信频段的频带宽（2）受外界干扰的影响小（3）通信灵活性较大（4）天线增益高、方向性强（5）投资少、建设快

线路的干扰

（1）越站干扰（2）旁瓣干扰

E-Band、Sublink、V-Band

## 卫星通信系统

（1）通信距离远，建站成本与通信距离无关（2）以广播方式工作，便于实现多址连接（3）通信容量大，能传送的业务类型多（4）可以自发自收，进行监测

（1）跟踪遥测及指令分系统（2）监控管理分系统（3）空间分系统（4）地球站

（1）天线分系统（2）通信分系统（3）遥测指令分系统（4）控制分系统（5）电源分系统

（1）遥测、指令和信标天线，一般是全向天线（2）通信天线，可分为全球波束天线、点波束天线和赋形波束天线

透明转发器、处理转发器

（1）天线、馈线设备（2）发射设备（3）接收设备（4）信道终端设备（5）天线跟踪伺服设备（6）电源设备

中心站、小型站、微型站

（1）单跳（2）双跳（3）单双跳混合（4）全连接网

# WCDMA无线网络规划与优化

## WCDMA网络规划原则与方法

## WCDMA网络规划流程

## WCDMA覆盖规划

阻塞概率与覆盖率、接收信号码率功率、导频信号质量

## WCDMA容量规划

## WCDMA扰码规划

## WCDMA无线网络优化

# LTE无线网络规划

## LTE无线网络规划基础

（1）网络需求分析（2）预规划（3）站址规划（4）网络无线仿真（5）小区参数规划

（1）网络覆盖范围（2）通话清晰程度（3）通话时掉线情况（4）数据业务速率（5）上网稳定性（6）网络连接速度

物理下行共享信道（PDSCH）时频资源占用比例

（1）边缘覆盖率：在覆盖区边缘上，接收信号强度大于接收门限的时间百分比（2）面积覆盖率：在覆盖区域内，接收信号强度大于接收门限的位置占总覆盖区域面积的百分比

（1）边缘速率：在一定覆盖率条件下边缘用户所能达到的最大速率（2）上行边缘速率：单用户边缘所能达到的速率（3）下行边缘速率：所有RB分配给一个边缘用户所能达到的最大速率

业务质量

参考信号接收功率（RSRP）、参考信号-信号与干扰加噪声比（RS-SINR）

等效全向辐射功率是指考虑天线增益、馈线损耗后从天线端发射出去的功率。EIRP（dBm）=信道发射功率（dBm）+天线增益（dBi）-馈线损耗（dB）

## 覆盖规划

（1）小区边缘用户业务速率（2）RB配置（3）资源调度算法（4）发射功率（5）传输模式及天线类型（6）小区用户数

（1）系统带宽（2）RB配置（3）多天线类型及传输模式（4）TD-LTE的上下行时隙及特殊时隙配置

下行底噪的抬升、EIRP的增大

（1）发射功率（2）热噪声功率谱密度（3）接收机噪声系数（4）目标SINR（5）接收灵敏度

（1）天馈参数（2）损耗（3）阴影衰落余量（4）穿透损耗（5）干扰余量（6）人体损耗

控制、业务

PUCCH、PRACH、PDCCH、PCFICH、PHICH、PBCH

大于

最大允许路径损耗、链路预算

## 容量规划

（1）固定的配置和算法性能（2）网络结构

参考信道开销、下行链路控制信道开销

路径损耗、阴影衰落

自适应调制

在LTE网络容量规划中，初期以覆盖目标为主，首先满足覆盖要求，分步建站，逐步提高系统容量；后期随着不同应用场景对容量需求的变化，灵活配置相对应的网络参数

（1）网络需求（2）单站所能提供的容量

最大的吞吐率

系统带宽选择、基站载波配置

S1接口和X2接口的传输带宽需求

（1）最大并发用户数（2）小区峰值吞吐率（3）小区平均吞吐率（4）激活用户数（5）非激活用户数（6）单小区同时在线RRC连接用户数（7）VoIP用户数

宽带自适应多速率编解码器（AMR-WB）

半永久调度（SPS）

## 频率规划

（1）同频组网方案（2）软频率复用方案（3）异频组网方案

## 参数规划

（1）不冲突原则（2）不混淆原则（3）错开最优化原则（4）扩展性原则（5）可用性原则

1ms、DwPTS、GP、UpPTS

（1）频谱效率（2）业务配比（3）系统间干扰

## 干扰规划

内部干扰、外部干扰、同频干扰、异频干扰、系统间干扰、其他随机干扰

（1）波束赋形天线技术（2）干扰随机化技术（3）干扰消除技术（4）小区间干扰协调技术

（1）杂散干扰（2）阻塞干扰（3）互调干扰

（1）发射机互调干扰（2）接收机互调干扰（3）外部效应引起的互调干扰

# LTE无线网络优化

## LTE无线网络优化概述

（1）单站优化（2）分簇优化（3）分区优化（4）不同LTE厂商交界优化（5）全网优化

（1）覆盖问题（2）接入问题（3）掉线问题（4）切换问题（5）干扰问题

（1）PCI合理规划（2）干扰排查（3）天线调整及覆盖优化（4）邻区规划及优化（5）系统参数

（1）CRS发射功率（2）信道的功率配置（3）PRACH信道格式

单站核查、单站测试

（1）覆盖优化（2）干扰优化（3）切换优化（4）掉线率与接通率优化（5）告警和硬件故障排查

（1）制定簇优化的目标（2）簇测试（3）数据分析及问题处理（4）调整以及验证

（1）天线下倾角（2）天线方向角（3）导频功率（4）天线高度（5）天线位置（6）天线类型（7）增加塔放（8）站点位置

## VoLTE网络优化

（1）准备工作（2）单站优化（3）功能验证（4）网格优化

## 大话务量场景优化设计

（1）准备阶段（2）现场保障阶段（3）总结阶段

（1）网络质量评价（2）网络容量评估（3）用户感知评估（4）网络运行情况评估（5）保障设备是否撤出

## 室内覆盖优化设计

（1）LTE与基站的距离（2）楼宇宽度与覆盖率的关系

（1）室外宏站解决室内覆盖（2）分布式天线系统DAS方式

## 高铁场景优化设计

（1）信号穿透损耗大（2）多普勒效应产生的频移（3）切换频繁

（1）高铁宏站场景（2）高铁覆盖隧道场景（3）高铁覆盖车站场景