



# 射频微电子学概论

闫娜

复旦大学ASIC实验室

## 个人介绍



### ❖ 闫娜

- 博士，讲师
- 复旦大学专用集成电路与系统国家重点实验室，复旦大学AUTO-ID实验室
- 研究方向：射频/模拟电路设计
- 研究课题：
  - 多模无线个人通信收发机、射频电路设计
  - 射频识别标签芯片设计
  - 非挥发性存储器设计
  - 流水线模数转换器设计
- 张江校区微电子楼321室，[yanna@fudan.edu.cn](mailto:yanna@fudan.edu.cn)，51355200-836

## 课程简介



- ❖ **课程内容**：研究**通信与电子信息系统中的“射频电路”**
- ❖ **课程目标**：初步建立对无线射频系统的认识，熟练掌握射频电路设计的基本原理及系统组成，并能够对当前典型无线射频通信系统有概括的认识。
- ❖ **授课时间**：每周五5-6节
- ❖ **授课课件**：[http://www.autoidlab.fudan.edu.cn/courses/RF\\_Microelectronics.asp](http://www.autoidlab.fudan.edu.cn/courses/RF_Microelectronics.asp)
- ❖ **学分**：2
- ❖ **授课地点**：Z2202
- ❖ **考核方法**
  - 平时成绩（包括出席情况）：5%
  - 作业：25%
  - 期末考试：70%

# 课程基础



- ❖ 模拟电子线路
- ❖ 半导体器件原理
- ❖ 信号与系统
- ❖ 电磁场理论

## ❖ 选课建议：

- 设计&通信&电子工程（如：通信原理，数字信号处理等）
  - 数学
- 工艺&材料
  - 物理

# 参考书目



作者	教材或参考资料名称	出版社	出版年月
陈邦媛	射频通信电路	科学出版社	2006年8月第二版
Behzad Razavi	RF Microelectronics (影印版)	清华大学出版社	2003年12月第一版
池保勇等	CMOS射频集成电路分析与设计	清华大学出版社	2006年11月第一版
Reinhold Ludwig等	射频电路设计-理论与应用	电子工业出版社	2002年5月第一版
Thomas H.Lee	The Design of CMOS Radio-Frequency Interated Ciruits (Second Edition)	电子工业出版社 (英文版)	2005年5月
Behzad Razavi	模拟CMOS集成电路设计	西安交通大学出版社	2003年2月第一版

# 课程内容



- ❖ 绪论 射频与无线技术简介
- ❖ 第一章 选频回路与阻抗变换 ( Important )
- ❖ 第二章 RF设计中的基本概念 ( Important )
- ❖ 第三章 接收机发送机架构
- ❖ 第四章 单端口网络和多端口网络 ( Important )
- ❖ 第五章 低噪声放大器
- ❖ 第六章 混频器
- ❖ 第七章 振荡器
- ❖ 第八章 锁相与频率合成技术 ( Optional )
- ❖ 第九章 自动增益控制
- ❖ 第十章 接收发送机实例
- ❖ 附：无线射频系统 ( Optional )

# 美国部分射频研究实验室



University	Professor	Lab	URL
Caltech	Ali Hajimiri	Caltech High-speed Integrated Circuits	<a href="http://www.chic.caltech.edu/">http://www.chic.caltech.edu/</a>
UCLA	Behzad Razavi	Communication Circuits Laboratory	<a href="http://www.ee.ucla.edu/~brweb/mainpage.html">http://www.ee.ucla.edu/~brweb/mainpage.html</a>
Berkeley	Ali Niknejad	Berkeley Wireless Research Center	<a href="http://bwrc.eecs.berkeley.edu/projects.htm">http://bwrc.eecs.berkeley.edu/projects.htm</a>
UCLA	Chih-Kong Ken Yang	High-Performance Mixed-mode Circuit Design Group	<a href="http://www.ee.ucla.edu/~ckygroupp/people.html">http://www.ee.ucla.edu/~ckygroupp/people.html</a>
Harvard	Donhee Ham	Research Laboratory of Electronics & Integrated Circuits	<a href="http://people.seas.harvard.edu/~donhee/">http://people.seas.harvard.edu/~donhee/</a>
Columbia	Peter Kinget	Analog&RF IC Design Research	<a href="http://www.cisl.columbia.edu/kinget_group/index.html">http://www.cisl.columbia.edu/kinget_group/index.html</a>
UCSD	Lawrence E. Larson	UCSD Radio Frequency Integrated Circuits Group	<a href="http://rfic.ucsd.edu/advisor.html">http://rfic.ucsd.edu/advisor.html</a>
UCSB	Patrick Yue	UCSB High-Speed Silicon Lab	<a href="http://www.ece.ucsb.edu/yuegroup/leadership.html">http://www.ece.ucsb.edu/yuegroup/leadership.html</a>
UCLA	Mau-Chung Frank Chang	High Speed Electronics Lab	<a href="http://www.ee.ucla.edu/~hsel/pp1_mcf Frank Chang.html">http://www.ee.ucla.edu/~hsel/pp1_mcf Frank Chang.html</a>
Stanford	Thomas H. Lee	Stanford Microwave Integrated Circuits Laboratory	<a href="http://smirc.stanford.edu">http://smirc.stanford.edu</a>

本系在射频方面的研究。。。。



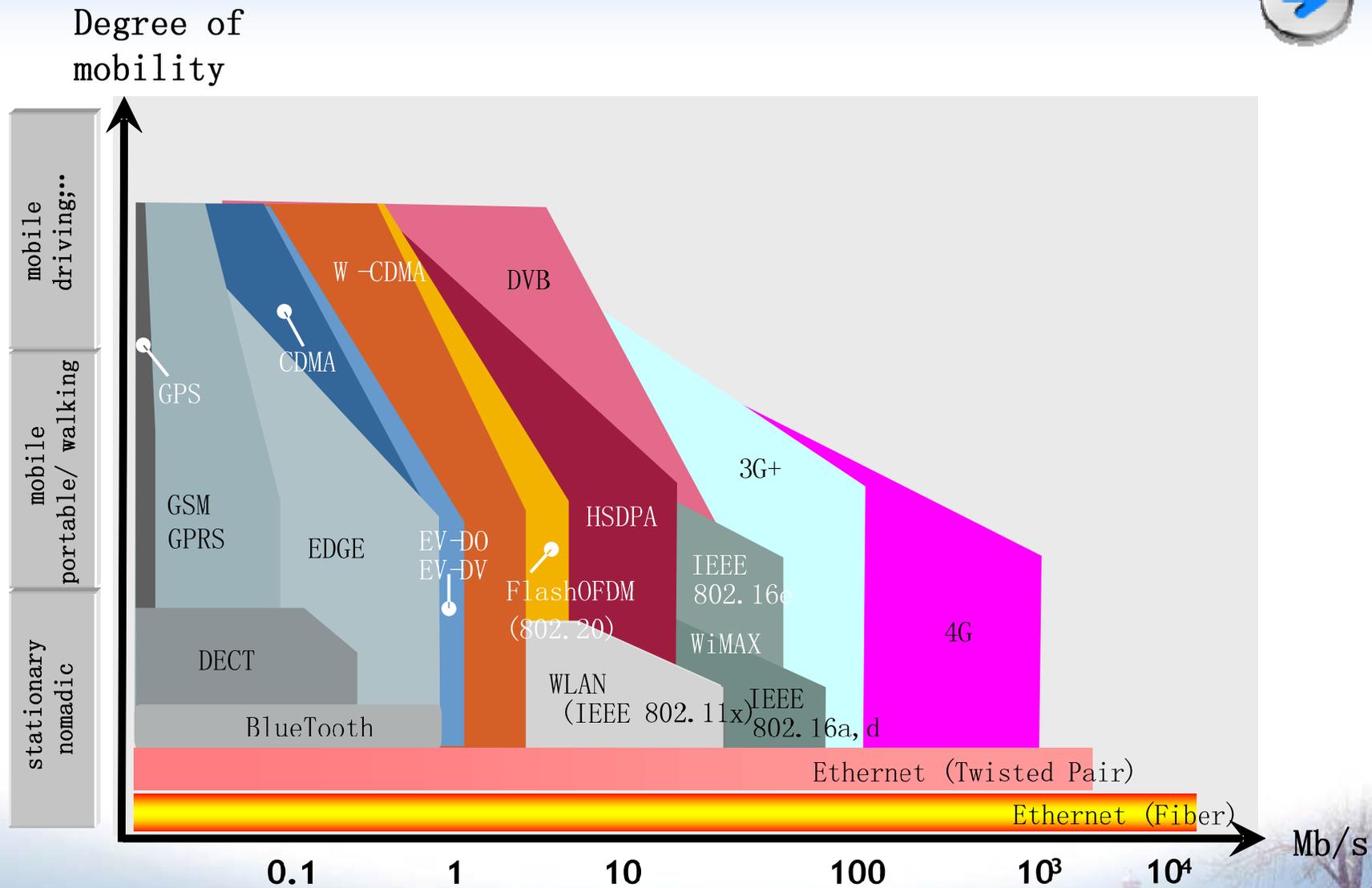
## ❖ 射频与无线技术简介

- **通信技术的发展及应用**
- 通信系统的组成
- 通信电路的射频设计
- 射频设计已成为通信电路发展的瓶颈

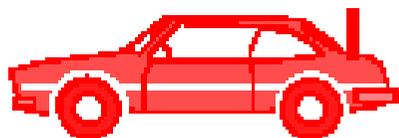
# 射频技术的应用



- ❖ 无线局域网 ( WLAN 802.11a/b/g )
- ❖ 全球定位系统 ( GPS )
- ❖ 射频识别 ( RFID )
- ❖ 个人无线通信 ( GSM/TD-SCDMA/WCDMA/CDMA2000/LTE )
- ❖ 家庭卫星网络 ( house satellite network )
- ❖ 其他近距离无线通信：
  - Zigbee ( 802.15.4 )
  - UWB ( 3.1-10.6GHz )
  - BlueTooth ( 802.15.1 )
  - NFC ( 13.56MHz )



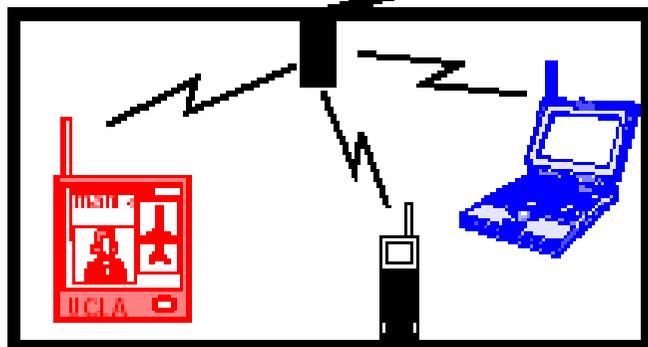
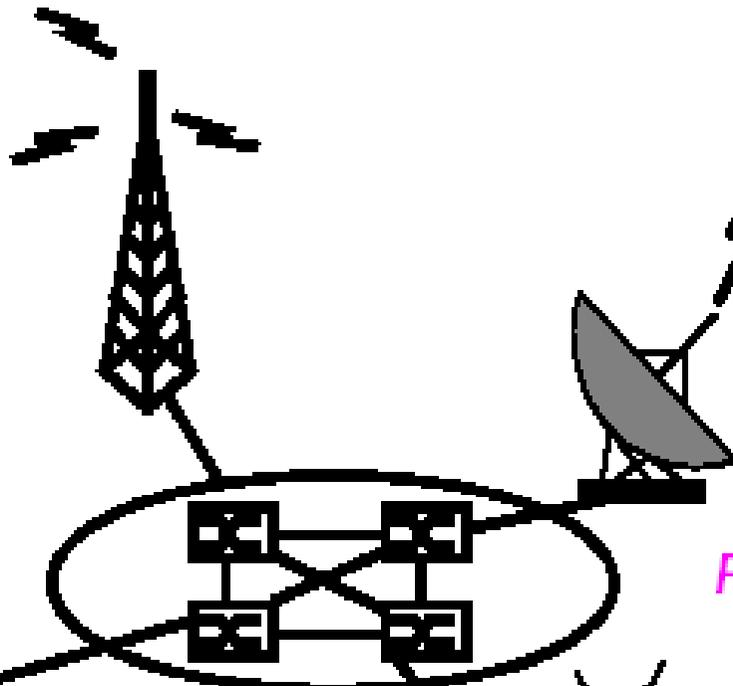
# 无所不在的无线通信



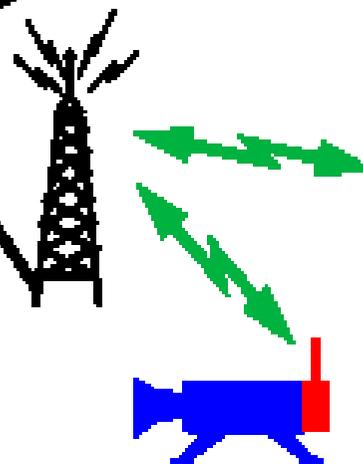
*PCS & Multimedia  
Messaging on the road*



*Fax & email on the beach*



*Multimedia wireless LANs & PBXs  
in offices, schools, hospitals, homes*



*Networked sensors everywhere*



Wireless Sensors

# 人人用得起通信设备



# 不断发展的通信技术



- ❖ 1820年 Oersted 发现电流会产生磁场；
- ❖ 1831年 Faraday发现导线作切割磁力线运动产生感应电流；
- ❖ 1864年 Maxwell提出电磁场方程组，预言电磁波存在；
- ❖ 1887年 德国科学家赫兹的电磁波辐射实验，辐射出1000MHz电磁波；
- ❖ 1894年 O. Lodge发明粉末检波器，在牛津检测到150码远发出的无线信号；

- ❖ 1895年 Marconi 发明的无线电报，传输2公里；
- ❖ 1897年 Marconi申请无线电报专利，建立无线电报公司；
- ❖ 1901年12月12日 Marconi在加拿大纽芬兰岛收到从英国Cornwall发出的无线信号，传输距离1700mile.
- ❖ 1900年 专利《调谐电话》获得批准，专利号为No.7777；同年公司改名为Marconi公司；
- ❖ 1907年 获诺贝尔物理奖；
- ❖ 1904年 Flemin发明电子二极管；
- ❖ 1906年 De Forest发明电子三极管放大；
- ❖ 1920年 AM广播在美国Pittsburgh开通；



Marconi



**在一次大战中 E. Armstrong发明超外差AM接收机 ;**  
**1933年 E. Armstrong发明FM ;**  
**1929年 美国人Zworykin发明电视 ;**  
**1933年 英国BBC广播电视开通 ;**  
**1947年 Brattain, Bardeen, Shockley发明晶体管 ;**



**W. SHOCKLEY**  
(1910-1989)



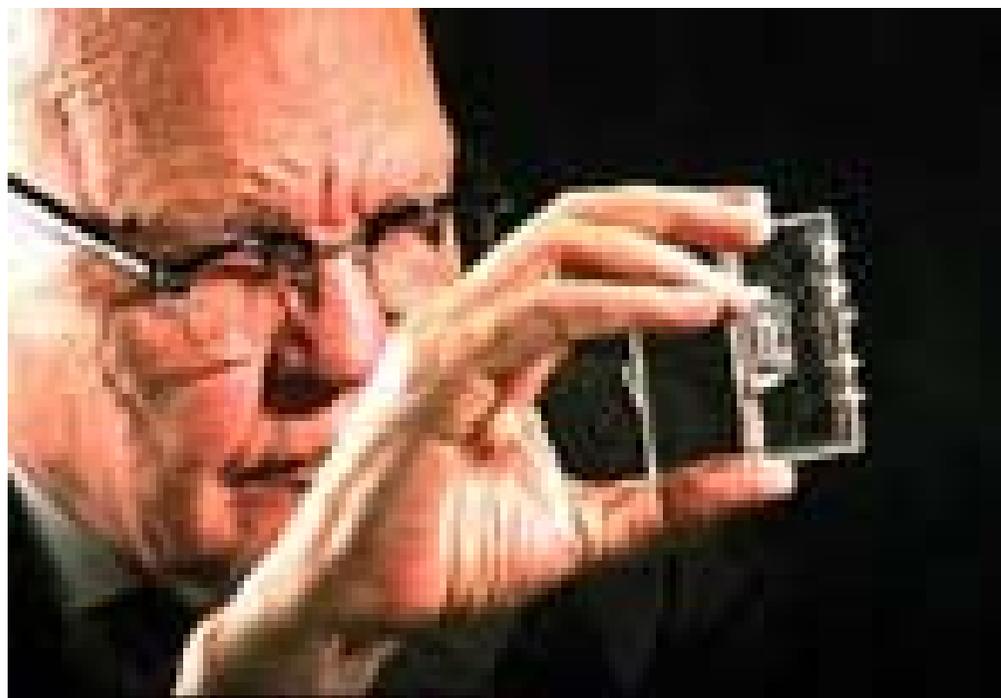
**J. BARDEEN**  
(1908-1991)



**W. H. BRATTAIN**  
(1902-1987)



**1958年 Kilby和Noyce 发明集成电路；**



**1962年 Telstar I 卫星发射，转播欧、美之间电视广播；**

**1965年 发射商用通信卫星；**

70年代初 Bell实验室R. Frenkiel等提出蜂窝式无线移动通信网概念；  
1983年 出现第一代商用蜂窝移动通信系统；  
目前第二代→第三代→三代后→ 第四代；



Clinton总统给R. Frenkiel 授奖

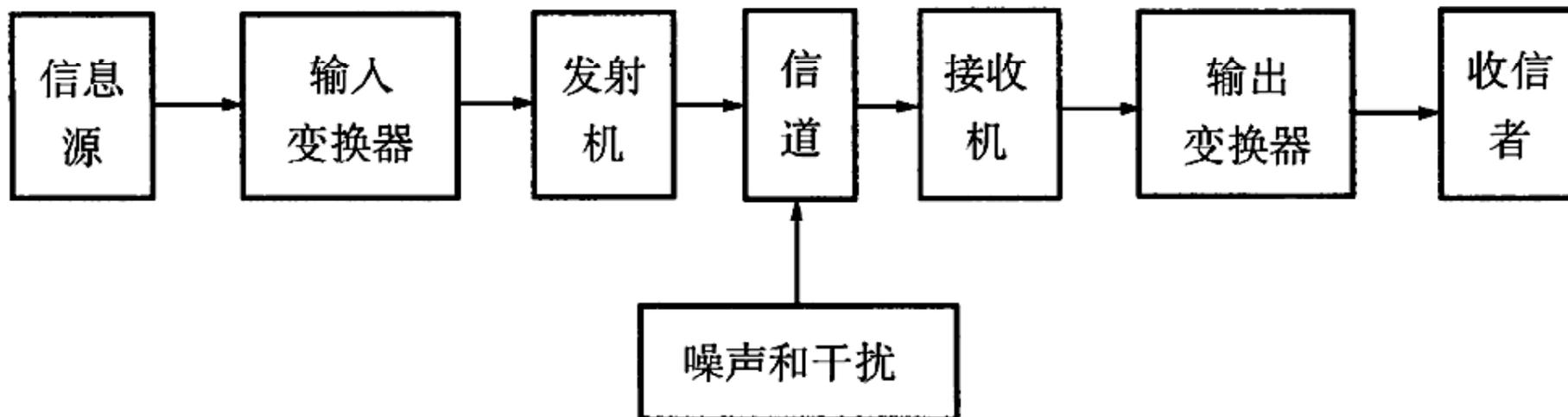
**造就当今移动通信辉煌局面的应首推微电子技术和射频技术**



## ❖ 射频与无线技术简介

- 通信技术的发展及应用
- **通信系统的组成**
- 通信电路的射频设计
- 射频设计已成为通信电路发展的瓶颈

# 通信系统的组成



## 两种变换：

- 1、非电信号                      电信号（基带信号）  
基带信号：模拟或数字，低频
- 2、调制与解调：基带信号                      通带信号  
通带信号：高频，窄带



## ❖ 调制的目的：

- 有效的发射电磁波
  - 天线长度&信号波长相比拟（至少为1/10）
  - 话音频率300~3400Hz ~ 300km
  - 900MHz ~ 33cm
- 有效的利用频带

## ❖ 调制方式：

- 调幅 — 基带信号控制载波幅度
- 调频 — 基带信号控制载波频率
- 调相 — 基带信号控制载波相位



# 信道：有线（频段范围广）、无线

## 无线频段：

名称	频段	波长
中频 ( MF )	300kHz~3MHz	$10^3 \sim 10^2$ (m)
高频 ( HF )	3MHz~30MHz	$10^2 \sim 10$ (m)
甚高频 ( VHF )	30MHz~300MHz	10~1(m)
特高频 ( UHF )	300MHz~3GHz	1.0~0.1 (m) (分米波)
超高频 ( SHF )	3GHz~30GHz	0.1~0.01 (m) (厘米波)
极高频 ( EHF )	30GHz~300GHz	0.01~0.001(m) (毫米波)

# 无线信道的恶劣环境



- ❖ **接收信号微弱**
  - 介质损耗
- ❖ **多途径传输造成的多径衰落**
- ❖ **敞开信道收到的各种干扰**
  - 同频
  - 临近频道
- ❖ **移动接收中的多普勒频移 ( Doppler Shift ) 和频谱色散**
  - **多普勒频移**：由于发射机和接收机间的相对运动，接收机接收到的信号频率与发射机发出的信号频率之间的差值



## ❖ 色散信道 ( dispersive channel ) 分为时间色散信道和频率色散信道。

**时间色散信道**——当发射端发射一个极窄的脉冲信号时，接收端接收到这个信号（经过不同路径传播的）多个副本，在时间上展宽——就是多径了；

**频率色散信道**——在多径环境中，发射端和接收端之间存在相对运动，并且/或者，该传播信道中有其它运动的反射体、散射体，及障碍物等。由于多普勒效应，各个路径的信号产生不同的（在非相关散射条件下，统计独立的）多普勒频移。接收天线处合成信号的效果就是接收信号的频谱展宽了。如果发射的是一个单频信号，就可以明显地看到接收信号的频谱变化。



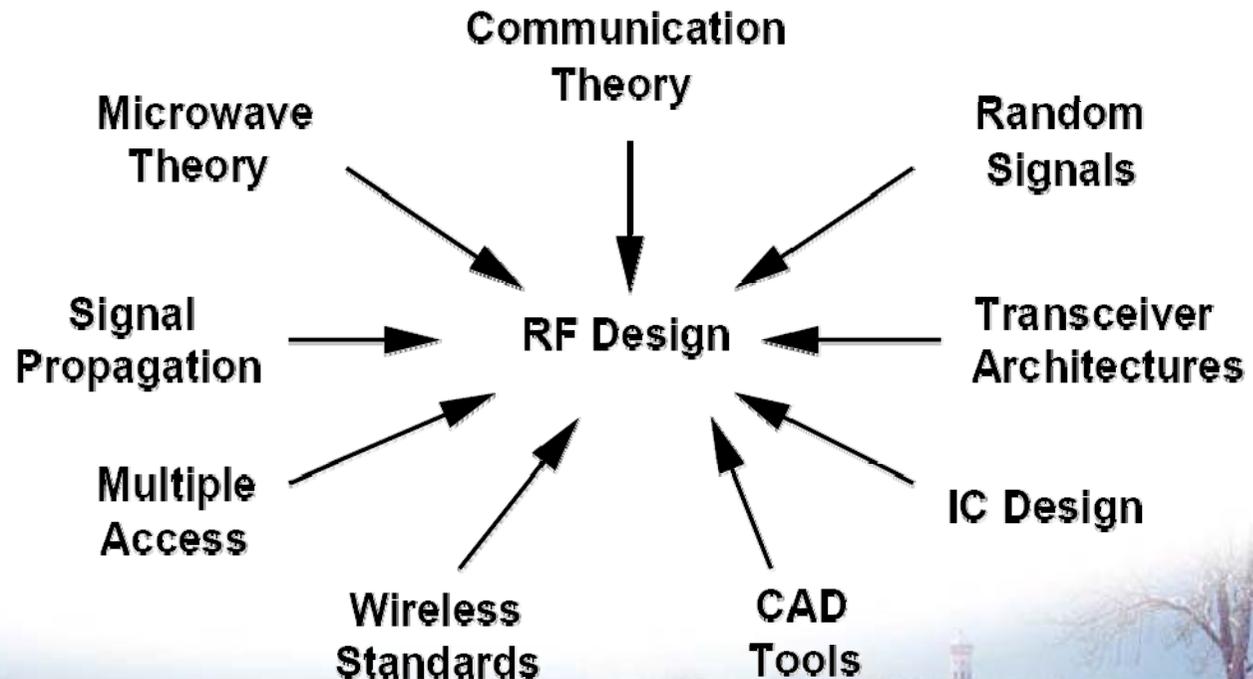
## ❖ 射频与无线技术简介

- 通信技术的发展及应用
- 通信系统的组成
- **通信电路的射频设计**
- 射频设计已成为通信电路发展的瓶颈

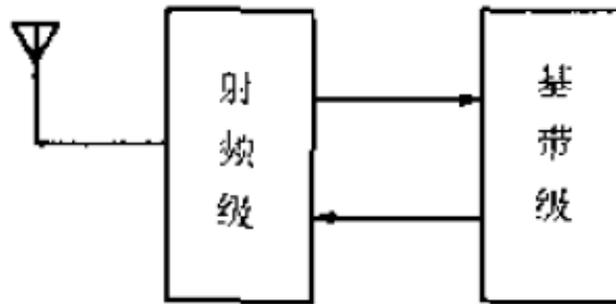
# 什么是射频？



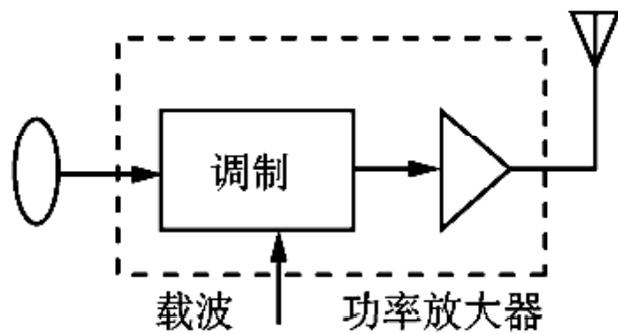
- RF—radio frequency
- 射频 - - 可以无线发射的频率
- frequency: several hundred MHz to low microwave frequency band
- 多学科领域



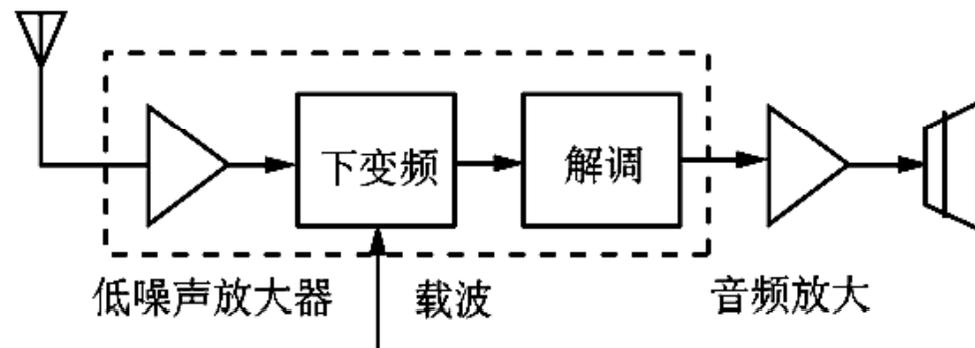
# 通信电路的射频设计



无线移动通信机



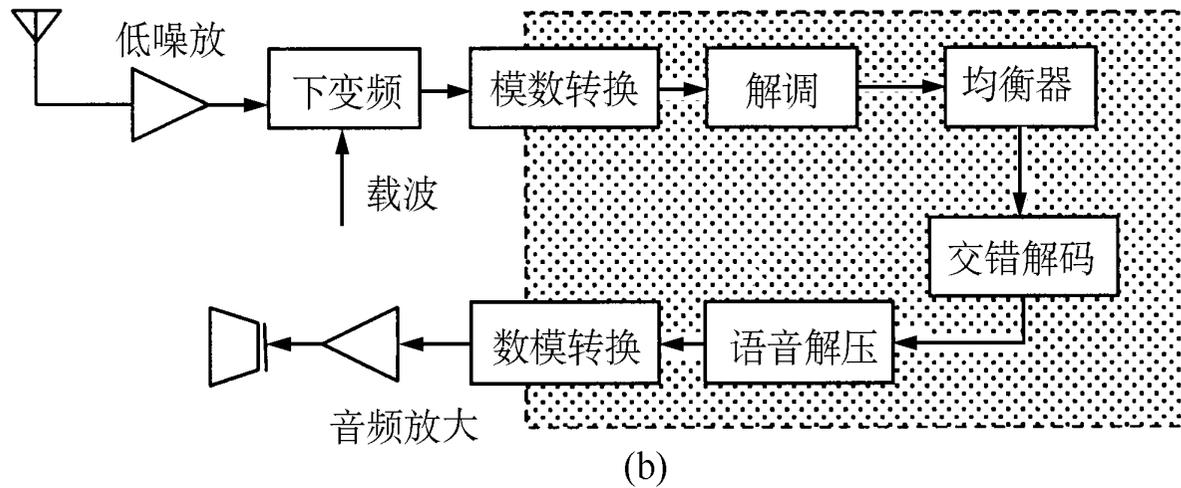
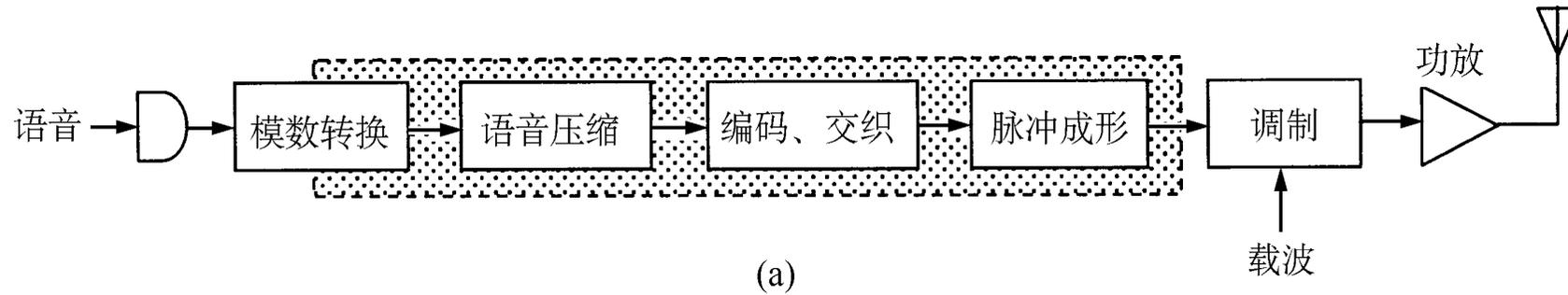
(a) 发射机



(b) 接收机

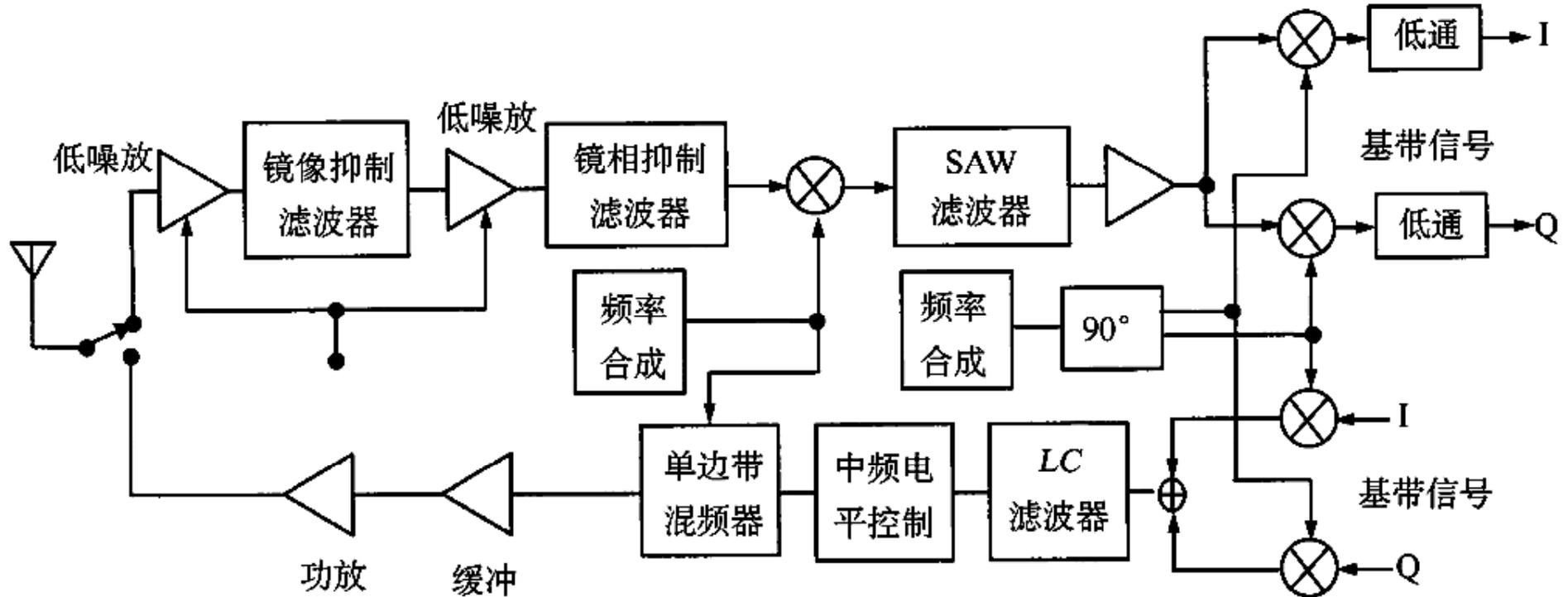
## 模拟通信机的射频级电路方框图

# 通信电路的射频设计



## 数字通信机的射频级电路方框图

# 通信电路的射频设计



## 无线数字手机的射频级电路

# 射频电路设计要求



- ❖ 良好的选择性
- ❖ 低噪声、高动态范围
  - 信号小-噪声
  - 信号大-非线性度
- ❖ 接收机对杂散频率信号有良好的抑制能力
  - 多次变频
- ❖ 本振信号应具有低的相位噪声
- ❖ 发射机必须严格限制带外衰减
- ❖ 发射机功率放大器具有高的功率增加效率 ( PAE )
- ❖ 低电压、低功耗

# 射频电路设计要求



## ❖ 射频设计六边形

