

文章编号: 1005—8893 (2001) 04—0058—04

# 无线通信技术及其发展动态<sup>\*</sup>

徐 燕

(江苏石油化工学院 计算机科学与工程系, 江苏 常州 213016)

**摘要:** 无线通信是现代通信理论和技术研究的热点之一。以数字通信的基本理论为主线, 从信源编码、信道编码、调制解调以及多用户通信等不同角度出发, 全面介绍现代无线通信物理层系统所涉及的关键技术的原理、性能和发展动向, 并对今后无线通信领域的研究与应用作出展望。

**关键词:** 无线通信; 数字通信; 发展动态

**中图分类号:** TN 91      **文献标识码:** A

通信是传播信息的方式。在通信系统中, 信息常常被附着在声、光、电信号上在物理媒介中进行传输。按照传输信号的媒介, 通信系统可以大致分为有线通信系统和无线通信系统两类。有线通信方式包括电缆通信, 光纤通信, 以及利用电力网的电力线通信; 无线通信方式包括卫星通信, 陆地移动通信, 微波中继通信, 以及无线局域网。近年来, 无线通信系统, 特别是陆地移动通信系统正在进行着变革式的发展, 新理论、新技术以及新的应用不断涌现。本文介绍无线通信的基本理论和技术发展动态, 并简要介绍现代无线通信系统, 包括第三代移动通信系统的关键技术。

## 1 无线通信的理论与技术

### 1.1 信息论与数字通信

上世纪中叶以来, 无线通信系统始终在沿着数字化的方向发展。随着计算机技术和大规模集成电路技术的迅速发展和在通信领域中的应用, 数字技术已经成为现代通信系统的基石。一个典型的数字通信系统包括发送设备和接收设备两部分, (如图1所示<sup>[1]</sup>)。发送设备的基本功能是将信源产生的信息变换成便于在传输媒介中传送的信号形式送往

信道。变换方式包括信源编码、信道编码和调制。接收设备的基本功能是完成发送设备的反变换, 即进行解调和解码, 将原始信息从带有干扰的接收信号中恢复出来。

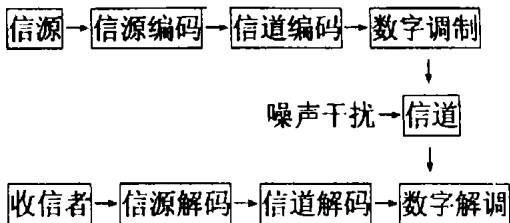


图1 数字通信系统框图

相对于将模拟信号直接在媒介中传输的通信方式, 数字通信具有下列优点: ①数字信号易于被接收机识别再生, 因而抗噪声干扰能力强, 通信质量好; ②数字信号易于处理和存储, 可以被压缩以提高通信的效率; ③数字信号容易被加密和纠错, 有利于提高通信的安全性和可靠性; ④可以利用计算机和集成电路技术提高数字通信系统的可靠性, 减小设备体积和重量。

1948年香农(Shannon)发表了《通信的数学理论》一文, 标志着信息论学科的建立。根据香农的信道容量公式, 在频带宽度为  $W$  的有扰信道上, 一个通信系统在单位时间内可传输的最大数据传输率为:

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2001—09—18

作者简介: 徐燕(1963—), 女, 江苏武进人, 本科。

$$C = W * \log_2 (1 + S/N)$$

其中  $S$  是信号的平均发射功率,  $N$  是噪声和干扰的功率,  $S/N$  为信噪比。香农给出了通信系统传播信息能力的理论上限, 即信道容量, 但并没有指出如何使信息传送的速率达到和接近信道容量。50 多年来, 通信理论研究和系统设计工作的主要目标就是寻找各种可实现的手段去尽量地逼近香农给出的理论极限。换言之, 就是要使通信系统用尽量少的能量传送尽量多的信息量。

以下具体介绍数字通信的 3 个主要研究领域——信源编码、信道差错编码和调制解调技术——的发展动向。

### 1. 1. 1 信源编码

对于模拟信源, 信源编码是将模拟信号表示为数字序列的过程, 这一过程不可避免地要带来信息的失真, 在允许的失真度范围内, 编码的目标是使得数字序列的码速率尽量小, 以提高通信的效率。模拟信源编码的一个主要问题是量化, 也就是如何将连续的模拟量用恰当的离散数字来表示。量化可分为标量量化和矢量量化两种。标量量化是对模拟信号源的每一个取样单独处理, 用 1 个数据来表示在一定范围内取样点; 矢量量化则是对多个取样同时处理, 用 1 个矢量来表示这 1 组取样点。矢量量化往往具有较高的效率, 因而近来被广泛应用于语音以及图像的编码。常用的模拟信源编码技术可分为三类: 一是时域波形编码, 例如 PCM 和 AD-PCM 语音编码; 二是频域波形编码, 例如用于语音及图像的子带编码 (Subband Coding—SBC) 和自适应变换编码 (Adaptive Transform Coding—ATC); 三是基于信源模型的编码, 例如基于线型滤波器模型的线性预测编码 (Linear Predictive Coding—LPC), 以及在其基础上发展起来的码激励 LPC (CLPC) 以及矢量和激励 LPC (VSELP)。一般说来, 频域波形编码和基于模型的编码可以达到较低的码速率。传统的信源编码通常针对固定速率的信道, 近年还出现了可变码速率的编码方式。由于无线通信环境中的信道容量常常受各种因素影响而变化, 可变速率的信源编码可以灵活地适应信道的变化, 使通信的效率更高。有些信源可以直接产生离散的数据信息, 例如计算机文件, 这些数据常常需要用一定的算法进行压缩来降低码速率, 经过压缩的数据并没有丢失信息, 因此这一类算法被称为无失真压缩算法。常用的无失真压缩算法有哈夫曼 (Huffman) 编码、代数编码、LZ (Lempel—

Ziv) 算法, 以及近年出现的基于语法的压缩算法, 例如 Yang—Kieffer 算法<sup>[2]</sup>。

### 1. 1. 2 信道编码

信道编码主要用于差错的检测和纠正, 减少信息比特在信道中的丢失概率, 从而提高信息传输的效率。通过信道编码,  $k$  个信息比特被扩展成  $n$  个比特 ( $n > k$ ),  $k/n$  称为编码率。一般来说, 编码率越低, 检错和纠错的能力越强; 但是编码率越低, 需要的冗余比特也越多, 反而可能降低信息比特的传输速率。因此, 设计信道编码时应该针对信道的差错特性, 选择合适的编码率, 使得信息比特的传输速率最大。常用的信道编码包括线性分组码和卷积码。线性分组码以线性代数方程为基础, 将每  $k$  个信息比特分为 1 组, 通过线性方程式的计算, 将每 1 组信息比特映射成含  $n$  个比特的码字 (code word)。解码的过程则是利用同样的线性方程进行反变换, 将  $n$  比特的码字转换成  $k$  比特的信息。由于线性分组码的每个码字只与 1 组  $k$  个比特的信息有关, 在编码和解码时需要把整个信息码组存储起来一并处理。与分组码不同, 卷积码编码生成的  $n$  个比特不仅与当前输入的  $k$  个信息比特有关, 还与前面  $(N-1)$  段信息有关, 编码器输出的相互关联的比特有  $Nn$  个,  $N$  称为卷积码的约束长度。通常, 卷积码的纠错能力随着  $N$  增加而增大。卷积码的解码基于最大似然准则, 即根据输入解码器的码序列寻找 1 条最可能是原始信息的比特序列。卷积码的解码方法有维特比算法和序列译码法, 其中维特比算法性能较优, 但是复杂度也较大。一般来说, 卷积码的纠错性能优于线型分组码, 线性分组码的解码较为容易实现, 这两类信道编码方法在无线通信系统中都有应用。线性分组码和卷积码都是理论上比较成熟, 在实际系统中广泛应用的信道编码技术。近年来, 人们还发现一些在性能上更为优越的信道编码方法, 其中最著名的有 Turbo 码 (Turbo Code)<sup>[3]</sup>。Turbo 码在性能上十分接近香农的理论极限, 是近年来编码技术上的重大突破。由于 Turbo 码的编解码过程引入了比较大的时延, 目前主要用于非实时的数据传输。传统的信道编码和解码是通信系统中的独立功能模块, 近年来的一个主要趋势是将编码与调制解调技术相结合。网格编码调制 (Trellis Coded modulation—TCM) 是这样的一种技术。TCM 技术通过增大调制信号集来为纠错编码提供冗余度, 可以在获得编码增益的同时不增加频带的宽度, 具有比较高

的频普利用率。近年来出现的空时编码 (Space Time Coding—STC)<sup>[4]</sup>则是将编码与多天线分集技术相结合,可以在获得编码增益的同时实现高速无线数据传输。

### 1.1.3 调制与解调

调制解调是数字通信技术的传统领域,主要的数字调制方法可分为幅移键控法 (ASK), 频移键控法 (FSK), 相移键控法 (PSK), 以及正交幅度调制法 (QAM)<sup>[5]</sup>, 在此不一一赘述。应该指出,无线信道具有复杂的衰落特性和噪声干扰,传统的调制解调技术在无线信道中常常不能发挥最佳的性能。调制解调技术的一个研究方向是可变码率的自适应调制,例如自适应的 QAM (AQAM)<sup>[6]</sup>。在无线衰落信道中,根据信道衰落的变化自适应地通过调整调制信号集来改变码速率,可以提高信息传输效率。另外一个重要的研究方向是多载波调制技术 (Multi-Carrier Modulation—MCM), 多载波调制可以很好地解决信道中调制符号间的干扰 (Inter-Symbol Interference—ISI) 问题,适合于高速无线数据的传输。解决 ISI 问题的另外一个有效手段是均衡 (Equalization) 技术,即根据信道的衰落特性将接收的信号进行滤波,消除 ISI 的影响。由于无线信道的特性往往随时间不断变化,均衡器还需要有自适应的能力,设计有效的自适应算法是一个重要的研究课题。扩频技术是对抗信道中的噪声和干扰的一个重要手段,通过在发送端将信息序列的频带展宽,并在接收端将信息频带恢复,信道中的干扰和噪声的功率可以被降低,从而提高了信噪比。扩频技术早期用于军事通信,近来被广泛应用于码分多址的现代移动通信系统中。

## 1.2 多用户通信技术

前面所述的数字通信理论和技术主要是针对单个用户点对点通信的模式,实际的无线通信系统往往需要对多个用户同时提供通信服务,这就涉及多用户通信技术,包括多址接入、多用户检测、频率复用等等。多址接入方式可大致分为以下几种:频分多址 (FDMA); 时分多址 (TDMA); 码分多址 (CDMA); 空分多址 (SDMA)。设计实际系统时还可以将几种多址方式组合,例如复合的时分码分多址,以及 SDMA 与 TDMA 或 CDMA 的复合<sup>[7]</sup>。FDMA 将可用频段细分为不相交的子频带,每个用户占用 1 个频带,系统通过识别不同的频带来识别用户。FDMA 用于早期的无线通信系统,由于

每个用户占有固定的子频带,用户可用带宽较窄,频带的利用率也比较低。FDMA 在第一代模拟移动通信系统、集群通信系统和无绳电话中还有应用。TDMA 在 1 个频段范围内,将时间分为不同的时隙,每个用户占有 1 个时隙,系统通过识别用户接入的时间来区分不同的用户。在 TDMA 系统中,不同的用户分时使用整个频段,每个用户用不连续的脉冲方式发射信号。由于每个用户在时隙内发射信号的速率较快,ISI 的影响比较严重,因此在 TDMA 系统中常常需要使用自适应均衡技术来补偿信道衰落。TDMA 在第二代移动通信系统,例如欧洲的 GSM 和北美的 PCS 系统中,得到了广泛的应用。CDMA 是一种基于扩频技术的多址方式,所有的用户共享 1 个频段,每个用户的窄带信息序列乘上一个单独的扩频码序列后,其频带被扩展到整个系统的频段,系统通过识别用户的扩频码来区分用户。扩频码通常是 1 个伪随机序列,不同的伪随机序列之间几乎正交 (有很低的互相关),扩频后的用户信号对其他用户表现为噪声。在接收端,系统可以用每个用户的伪随机序列将其窄带信号从其他用户的噪声中恢复出来,这一过程称为相关接受 (解相关)。与 FDMA 和 TDMA 相比,CDMA 允许同一频率的复用,因而更为灵活,在蜂窝移动通信系统中,利用 CDMA 可以提高频谱的利用率。另外,由于频谱被扩展,CDMA 数字信号的最小周期 (或称为码片长度) 与多径衰落信道中的多径延迟相当,利用一种称为 RAKE 的分集接收技术,可以接收多径信号,抵抗多径信道的衰落。CDMA 技术在第二代移动通信系统中已经有了应用,在即将到来的第三代移动通信系统中,CDMA 将成为主要的接入方式<sup>[8]</sup>。由于不同伪随机序列之间不可避免地存在一定的相关性,不同 CDMA 扩频信号之间存在着多址接入干扰 (Multiple Access Interference—MAI), MAI 是限制 CDMA 系统用户数量的一个主要因素。另外一个影响 CDMA 系统容量的因素是远近效应,如果个别用户在接收端的功率远远高于其它用户,会对其他用户产生严重干扰,因此在实际的 CDMA 系统中常常需要用功率控制来克服远近效应。为了提高 CDMA 系统容量,人们提出了各种抗多址干扰的技术,总称为多用户检测技术<sup>[9]</sup>。多用户检测的基本思想是将所有用户的信号当做可以互相利用的有用信号,而不是当做干扰信号。多用户检测可分为线性和非线性两类方法,线性方法有解相关检测和最小均方误差

(MMSE) 检测, 这些方法实际上与线性均衡方法相似, 这一类检测器的线性结构常常会限制其性能。利用维特比算法的最大似然序列估计 (MLSE) 检测是最优的多用户检测方法, 但是由于过于复杂而难以利用目前的技术来实现, 为此, 人们提出了多次最优的非线性检测方法, 包括多级 (Multi-stage) 检测器、判决反馈 (Decision-feedback) 检测器、连续干扰抵消 (Successive Interference Cancellers-SIC) 等等。多用户检测技术仍然在发展之中, 相信在不远的将来可以得到广泛的应用。另外一个提高移动通信系统容量的方法是采用 SDMA。SDMA 利用无线电信号的方向性, 用天线阵列来识别不同方位的用户。SDMA 依靠近年来取得突破性进展的智能天线技术<sup>[10]</sup>, 增加在空间上的频率复用效率, 大大提高了频谱的利用率。SDMA 在现有的移动通信系统中已有了初步的应用, 例如, 蜂窝移动通信网的每个小区的基站上通常可以安装 3 个方向的天线, 即该小区被划分为 3 个扇区, 处在不同扇区的用户之间可以互不干扰。采用智能天线技术的系统可以将扇区进一步细分, 在理想的情况下, 每个用户的无线电信号都可以被智能天线识别出来, 从而将用户间的多址干扰降至最小。在实际的无线通信系统中, SDMA 通常需要和 CDMA 或 TDMA 结合使用。

## 2 结束语

过去的 20 年间, 无线通信技术在应用的推动下得到迅速的发展, 陆地移动通信系统经历了从第一代到第三代的更新。第三代的 CDMA 系统具有更宽的频谱和更大的容量, 可以服务更多的用

户, 支持多媒体的业务, 并提供更高的数据传输速率。随着人们不断增长的对无线通信服务的需求, 无线技术的发展将不会停止。可以预见, 未来的移动通信系统将是开放和灵活的平台, 可以容纳数字通信技术的最新进展, 包括信道编码技术, 智能天线技术和多用户接收机技术。随着通信技术的不断发展, 一个提供多媒体服务的功能强大, 无处不在的无线通信网络将不仅仅是梦想。

## 参考文献:

- [1] Proakis J G. Digital Communications (3rd edition) [M]. New York: McGraw-Hill, Inc, 1995.
- [2] Kieffer J C, Yang E-H. Grammar Based Codes: A New Class of Universal Lossless Source Codes [J]. IEEE Trans Inform Theory, 2000, IT-46 (3): 737-754.
- [3] Stuber G L. Principles of Mobile Communication (2nd edition) [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [4] Naguib A F, Calderbank R. "Space-Time Coding for High Data Rate Wireless Communications", Wireless Communication Technologies: New Multimedia Systems [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [5] 曹志刚, 钱亚生. 现代通信原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
- [6] Webb W T, Steele R. Variable Rate QAM for Mobile Radio [J]. IEEE Trans Commun, 1995, 43 (7): 2 223-2 230.
- [7] Rappaport T S. Wireless Communications: Principles and Practice [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998.
- [8] Holma H, Toskala A. WCDMA For UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 2000.
- [9] Duel-Hallen A, Holtzman J, Zvonar Z. Multiuser Detection For CDMA Systems [J]. IEEE Personal Communications Magazine, 1995, 2 (2): 46-58.
- [10] 胡健栋. 码分多址与个人通信 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.

## The Advancement of Wireless Communication Technology

XU Yan

(Department of Computer Science and Engineering, Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** Wireless communication is one of the most hot research topics for modern communications. Based on the fundamental theory of digital communications, this paper gives an overview of the advancement of the physical-layer technologies, such as source coding, channel coding, modulation, and multiuser communications, for modern wireless communication systems. A vision of the future of wireless communications is also presented.

**Key words:** wireless communications; digital communications; advancement