

## 无线信道的内涵与扩展（Ⅲ）——信道与通信关键技术的关系

吕长伟

随着无线通信的不断发展，通信服务越来越完善，尤其是传输速率越来越快，不仅满足了人们当前的需求，也激发了很多新的应用。图 1 为历代无线通信的应用需求概览。通过前两篇文章的阐述，我们知道，无线信道对无线通信性能有着重要的影响，限制着无线通信各方面的性能，无线通信的发展史就是一部对抗无线信道影响的血泪史。从另一个角度看，无线通信的发展史也是对无线信道的开发史，因为移动通信系统的更新换代，尤其是物理层的演进，都涉及着如何更好的开发利用无线信道。本文将无线通信发展过程中最基本的关键技术与信道联系起来，目的是阐述无线信道在移动通信演进过程中的重要之处。本文从另外一个视角观察移动通信发展史，希望能为有兴趣的读者提供一个不一样的思路。

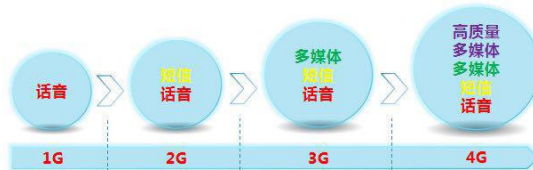


图 1. 历代移动通信应用概览

通信受很多因素限制，最大的限制是通信资源是有限的，尤其对于无线通信，通信资源极其珍贵。最主要的通信资源包括频带宽度、时间长度，这就是说适用于某种通信的无线信道是有限的，如何对其划分和高效利用是非常重要的。无线信道可以在不同的“域”内进行分析，这些域主要包括“空间”、“时间”、“频率”和“角度”。每一次无线通信的重大进展，都涉及到对无线通信资源的高效利用和开发。对于时间域和频率域，了解信号处理相关知识的人对此或许会非常熟悉；对于角度域，熟悉阵列信号处理、大规模天线等领域的人对此会有了解。通过对无线信道在这些域内的不断研究，推动了无线通信整体产业的向前发展。

本文即将介绍的这些技术都是非常常见的无线通信技术，本文的特色之处是从另一个视角看待这些技术的发展脉络，即通过把这些技术视为对无线信道开发利用过程，有体系的利用信道这一脉络，把这些简单的技术联系起来。理解了这种联系，对整个移动通信的发展和无线信道的相关技术都大有益处。

### 一、对空间域无线信道的开发——蜂窝小区技术

我们首先说无线信道在空间域上的高效利用方法，因为正是这一方法的开发，才使得无线信道有限的时间、频率资源可以不断的复用，满足人们对于随时随地进行通信的需求，这就是蜂窝移动通信网络。自从 20 世纪 70 年代贝尔实验室发明蜂窝概念以来，蜂窝技术就是移动通信的基础。有时候，大家就将移动通信称为蜂窝通信。蜂窝的概念解决了移动通信中频率资源有限的问题，直接导致了 20 世纪 80 年代以后的移动通信大发展。

蜂窝的概念是一个系统级的概念，用许多小功率的发射机来代替单个的大功率发射机，每一个小的覆盖区只提供服务范围内的一小部分覆盖。每个基站分配整个系统可用信道中的一小部分，相邻基站则分配另外一些不同的信道，这样所有的可用信道就分配给了相对较小数目的相邻的基站。给相邻的基站分配不同的信道组，基站之间及在它们控制之下的用户之间的干扰最小。通过分隔整个系统的基站及它们的信道组，可用信道可以在整个系统的地理区域内分配，而且尽可能的复用，复用的主要条件之一是基站之间的同频干扰低于可接受水平。随着服务需求的增长，基站的数目可能会增加，从而提供额外的容量，但没有增加额外的频率。此外，蜂窝概念允许在一个国家或一块大陆内，每一个用户设备都做成使用同样一组信道，这样任何的移动终端都可以在该区域内的任何地方使用。图 2 为蜂窝通信网络的示意图。

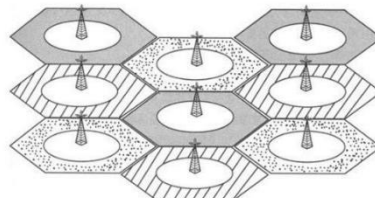


图 2. 蜂窝通信网络示意图

蜂窝通信网络技术实现了空间上的复用，在不同的空间上重复利用相同的无线信道资源，是无线通信史上重要的创新，这种在空间域上对信道的开发技术一致沿用至今，而且在可预见的未来，也将一直应用下去。

## 二、对时间域无线信道的开发——TDM 技术

对时间域的开发，最为重要的技术是时分复用（TDM），这是一种为实现共享无线信道资源的通信技术。它允许多个用户在不同的时间片（时隙）来使用相同的频率。它把时间分割成周期性的帧，每一个帧再分割成若干个时隙向基站发送信号，在满足定时和同步的条件下，基站可以分别在各时隙中接收到各移动终端的信号而不混扰。相应的多址技术为时分多址（TDMA），在 TDMA 系统中，用户迅速的传输，一个接一个，系统根据一定的时隙分配原则，使各个用户在每帧内按指定的时隙向基站发射信号。同时，基站发向各个用户的信号都按顺序安排在预定的时隙中传输，各用户在指定的时隙内

接收信号，并在合路的信号中把发给它的信号区分出来。这允许多用户共享同样的无线电频率，TDMA 技术的示意图如图 3 所示。

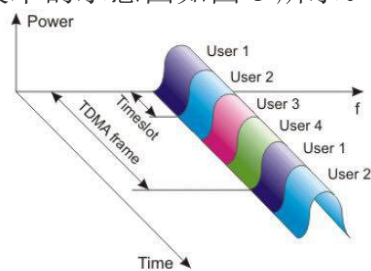


图 3. TDMA 技术示意图

目前第二代数字蜂窝系统广泛采用窄带 TDMA 方式，如 GSM、美国 ADC 和日本 PDC 等。TDMA 方式具有以下几个特点：

(1) 每个频道每个时隙只传送一路业务信息，因此在每个时隙上仍是单路单载波传输；

(2) 移动台发送的是周期突发信号，而基站发送的是时分复用信号；

(3) 多个时隙公用一个载波，互调干扰小，基站只需一部收发机，设备成本低；

(4) 抗干扰能力强，频率利用率高。

由于上述原因，TDMA 方式仍是目前以及未来移动通信中广泛采用的技术。TDMA 技术在时间域对无线信道资源进行开发利用，使得相同空间上相同频率的信道可以同时为多个不同用户进行服务，提高了无线通信的资源利用率，为更多用户接入无线通信服务提供了重要途径。

### 三、对频率域无线信道的开发——FDM 技术

类似于对时间域的开发，对频率域进行开发的重要技术是频分复用（FDM），是把总带宽分隔成多个正交的频道，每个用户占用一个频道。例如，把分配给无线蜂窝电话通讯的频段分为 30 个信道，每一个信道都能够传输语音通话、数字服务和数字数据。通过这种方式，相同空间上相同时间的信道可以同时为多个不同用户进行服务。相应的多址技术为频分多址（FDMA），FDMA 技术示意图如图 4 所示。

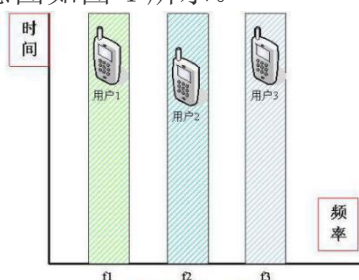


图 4. FDMA 技术示意图

在的频分复用(FDM)系统中，整个带宽分成  $N$  个子频带，子频带之间不重叠，为了避免子频带间相互干扰，频带间通常加保护带宽，但这会使频谱利用率下降。为了克服这个缺点，OFDM 采用  $N$  个重叠的子频带，子频带间正交，因而在接收端无需分离频谱就可将信号接收下来。OFDM 也有相应的多址技术 OFDMA。

FDMA 的主要特点有：

- (1) FDMA 通常在窄带系统实现；
- (2) FDMA 系统通常不间断发送信息，系统额外开销少；
- (3) FDMA 系统干扰较为严重，需要复杂的抗干扰技术；
- (4) 多用于窄带通信系统，系统设计简单。

#### 四、对角度域无线信道的开发——空间复用技术

对角度域开发也可以归类为对空间域进行开发的一个特殊分支，对空间域的开发是把空间划分成为不同的小区，而对角度域的开发是指把空间划分成不同的角度，不同的角度发送不同信息。对无线信道角度域的开发主要是空间复用技术，空间复用可以把空间分为多个角度，在理想情况下不同的角度是相互独立的，互不干扰。利用空间复用的前提是需要配置多输入多输出天线阵列(MIMO)，通过一系列空间信号处理算法，在一定的信道环境下，可以达到空间复用的目的。

近年，在 MIMO 的基础上，大规模天线技术(Massive MIMO)得到快速发展，Massive MIMO 一般要用在基站端，Massive MIMO 基于多用户波束成形的原理，在基站端布置几百根天线，对几十个目标接收机调制各自的波束，通过空间信号隔离，在同一频率资源上同时传输几十条信号。这种对空间资源的充分挖掘，可以有效利用宝贵而稀缺的频带资源，并且几十倍地提升网络容量。Massive MIMO 并不只是简单地扩增天线数量，因为量变可以引起质变。依据大数定理和中心极限定理，样本数趋向于无穷，均值趋向于期望值，而独立随机变量的均值分布趋向于正态分布。随机变量趋于稳定，这正是“大”的重要作用。在单天线对单天线的传输系统中，由于环境的复杂性，电磁波在空气中经过多条路径传播后在接收点可能相位相反，互相削弱，此时信道很有可能陷于很强的衰落，影响用户接收到的信号质量。而当基站天线数量增多时，相对于用户的几百根天线就拥有了几百个信道，他们相互独立，同时陷入衰落的概率便大大减小，这对于通信系统而言变得简单而易于处理。图 5 为大规模天线阵列下空间复用技术示意图。

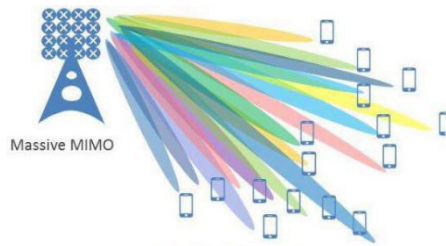


图 5. 空间复用技术示意图

当前 4G 无线通信发展的历程表明多天线技术通过天线数目的增加已经给系统带来巨大的性能增益。近年来，大规模多天线技术在传统多天线技术的基础上进一步得到发展，已经成为 5G 无线通信领域的关键技术之一，吸引学术界和工业界大量的研究目光。可以预见，这种空间复用技术开发无线信道的空间特性，必将在无线通信的发展中占据重要的地位。

## 五、总结

众所周知，无线通信依托于电磁波传播，最宝贵的资源莫过于频带。另一方面，用户对移动通信网的数据需求正呈现爆发性的增长，特别是需要实时传输大量数据的无线应用，如视频直播、高清电话会议、虚拟现实游戏等，对网络容量是严峻的考验。

面对强烈需求，背靠紧缺资源，如何满足科技爆发时代最底层速率的需求，为社会架起一条高速信息管道？在走过模拟通信、第二代、第三代和正在经历的第四代 LTE 系统之后，通信人正在攀登的另一座高峰是第五代移动通信技术。每一个体系的革新换代，其中都包含了无数的创新点。通过本文的叙述，很多非常重要的物理层创新点其实质是对无线信道的开发利用，随着技术的发展，无线信道的划分越来越精细，资源利用率越来越高，满足了越来越多的高新应用需求。期待着更多新的无线信道利用技术涌现。

本文作者：吕长伟，博士，深圳信息职业技术学院

研究方向：无线信道建模、估计和预测

版权所有：临菲信息技术港，欢迎转发

( 本文原载：微信公众号：临菲信息技术港 )

