

智能天线技术及具体实现方法

刘海英

中国电子科技集团公司 54 研究所

摘要 智能天线技术因诸多优势和特点，必将成为 3G 以后移动通信的关键实现技术。本文摘要介绍智能天线技术的国内外最新研究应用、未来发展、技术挑战及市场前景，并举例介绍其代表产品以及工程上的具体实现方法。

关键词 智能天线 自适应天线阵列 FPGA DSP

1 智能天线的发展

1.1 最新研究应用

自 1959 年由 Van Atta 提出自适应天线阵列的概念以来，智能天线已经历了 40 余年发展，大体上可分为 4 个阶段：前 10 年集中在自适应波束的控制；第二个 10 年主要集中在自适应零陷控制上；第三个 10 年则主要集中在空间谱估计上；近 10 年来则主要集中在结合移动通信的智能天线实现技术上。

由于智能天线技术的诸多优势和特点，它必将成为 3G（第三代）以后移动通信的关键实现技术。现在世界发达国家以及我国都在大力研发，而且已形成部分产品在市场上得到应用。

美国、日本和欧洲的一些国家非常重视未来移动通信中智能天线的作用，已经开展了大量的理论研究和产品研发。美国 Motia 公司开发了采用智能天线技术的芯片，称为 Javelin，是专门为企事业单位设计的，将允许网络管理员用较少的接入点覆盖办公区，从而降低安装和维护无线网络的成本。摩托罗拉公司 2004 年 1 月 7 日宣布，将采用 Motia 公司的 Javelin 扩大未来 Wi-Fi（无线局域网互操作性标准）设备的覆盖范围，提高信号强度。

我国在智能天线技术领域处于领先地位。我国早已将研究智能天线技术列入国家 863 发展计划，许多机构及公司正在进行相关的研究。作为最早的关注者和研究者，拥有 3G 移动通信标准 TD-SCDMA 核心知识产权的大唐移动通信设备公司是目前世界上唯一在实验网中将智能天线技术实用的开发主体，整体研究开发水平领先世界一年。西安海天天线科技股份有限公司作为一家从事通信天线和移动通信设备研发、生产、销售的公司，在通信天线开发领域已具有丰富的经验和业内公认的优势。两家公司已于 2002 年 10 月 15 日签定了合作开发“TD-SCDMA 移动通信智能天线系统”的协议。此次的研发合作，将加快推进移动通信基站天线技术向高端发展，加快 TD-SCDMA 标准产业化的进程。有分析称 TD-SCDMA 的完全商用，将会给整个电信产业链带来 10 万亿元的产值。

1.2 技术挑战和未来发展

目前智能天线的研究主要分为以下几个方面：

一是研究智能天线对现代移动通信系统的作用，利用仿真或理论研究的方法探讨应用智能天线对移动通信系统的抗干扰能力、系统容量、抗多径衰落能力的改善；

二是智能天线基础理论的研究，主要研究智能天线的控制算法。因为智能天线的各种定位算法和波束形成算法的运算量很大，对器件、时间和功率的要求比较高，因此研究高效

的优化算法对提高系统的性能至关重要。

三是建立智能天线硬件实验平台(测试床),在实际的电磁环境下测试各种天线阵列、智能天线控制算法的性能,以确定智能天线的解决方案,并着手解决智能天线实用化的技术问题(如阵列单元的互耦、各单元通道不一致性的实时校准技术等)。

智能天线虽然从理论上讲可以达到最优,但要具体实现理想的智能天线,还有待于许多问题的研究解决:智能天线的接收准则及自适应算法;宽带信号波束的高速波束成形处理;智能天线实现中的硬件技术;智能天线的测试平台及软件无线电等方面。

而且智能天线今后的研究必须同一些相关技术联系,如与多用户检测、多用户接收和功率控制等结合在一起。目前的智能天线多用于基站系统,今后还可以研究基于移动台的智能天线。在信号处理部分,目前多采用自适应信号处理算法,尚未将人工智能方法应用于其中,同时还可尝试将智能计算的一些方法,如人工神经网络、模糊技术和进化计算等用于智能天线系统中。

2 智能天线代表产品介绍

2.1 美国 Metawave 公司的 Spot Light GSM 智能天线系统

目前已经有一些智能天线投入了商用,如上海联通使用了美国 Metawave 公司的 Spot Light GSM 智能天线系统,取得了良好的效果。

Spot Light GSM 天线属于多波束智能天线,它用 4 个 30°天线代替一个 120°扇面天线。系统依靠专利的最佳波束选择算法转换发射和接收波束。射频能量在每一时隙在一指定的 30°波束内而不是整个 120°扇面中作下行线发射,所以同信道干扰在邻近蜂窝中大大减少。同样,对接收同信道干扰的开放波束也有效地从 120°减到 30°。这样,相对于单一 120°扇面天线,30°天线有效地降低了 4 倍的同信道干扰,理论上相当于 6dB 的 C/I(载干比)改善。这个增益使得通信信道的上行(手机—基站)和下行(基站—手机)都得到了改善。在上行方面,安装了智能天线系统的小区的载干比得到了增加;而在下行方面,原有的那些可视范围内的同频小区的载干比得到了增加。如果要保持原有的 C/I 值,则可以采用更密集的频率复用方式,从而提高了系统容量。

Spot Light GSM 执行波束转换,无须与基站的额外通信,所以 Spot Light GSM 系统的安装不增加基站通信负荷。事实上,由于无效试呼以及干扰或不良覆盖引起的重拨减少,基站处理器的负荷也降低了。此外,在测试中还发现在使用了智能天线的小区中,不仅小区中的网络容量和质量都得到有效地提高,小区中手机的平均接收功率和发射功率都下降了 2~3dB,尤其是手机的发射功率,下降为原来的 54%,而手机以满功率发射的比率也从 22%下降到 8%。Spot Light GSM 智能天线通过降低手机的收发功率减少了手机电磁波对人体的辐射,并通过提高网络的容量和质量,减少了小区中所需建立的新基站,因此有“绿色天线”之美称。

2.2 一种用于卫星移动通信的智能天线

有一种用于 L 卫星移动通信的智能天线,采用了由 16 个环形微带贴片天线组成的一个 4×4 的方形平面阵,它的射频频率为 1.542GHz,左旋圆极化,中频频率为 32kHz,A/D 变换器的采样速率和分辨率分别为 128kHz 和 8 位。在数字信号处理部分,选用了 10 个 FPGA 芯片,其中 8 个用于 16 个天线支路的准相干检测和快速傅里叶变换,另外 2 片则起到波束选择、

控制和接口的作用;自适应算法则选择了 CMA。系统的外场测试表明,它能产生 16 个波束来覆盖整个上半空间,并且不需要借助于任何传感器,就能用最高增益的波束来自动捕获和跟踪卫星信号,从而在各种复杂的环境下均能提供比采用其他天线要高得多的通信质量。

3 智能天线市场前景分析

智能天线单单在移动通信领域的市场前景就非常巨大。

天线是移动通信基站无线电信息的出入口,是基站设备的重要组成部分。在移动网络通信中,天线的运行质量在整个网络运行质量中发挥重要作用,占基站系统可靠性的 30%~50%。

从我国建设移动通信网开始,基站设备一直是从国外采购的。2000 年以前,我国移动通信市场上的基站天线 100%被跨国天线公司所垄断,国内基站天线没有机会形成自己的产业,国外跨国公司在基站天线设备上,赚取了高额利润。据统计,截止 2001 年年底,我国已建设 15 万个基站,按每个基站 4 到 6 面天线计,共需 60~90 万面天线,按当时国外品牌的平均价每面天线 7000 元人民币计算,我国移动通信运营商仅为天线一项就花去了 63 亿元人民币。

基于经济利益和国家安全利益的考虑,信息产业部在 2000 年 5 月出台了《移动通信系统基站天线技术条件》。标准的出台使得国产品牌与国外产品在技术上有了可比较的依据,我国正式启动了基站天线国产化项目。而在中国加入 WTO 之后的这一年时间里,国产基站天线产业发生翻天覆地变化。2000 年,国产基站天线的市场占有率为 0,2001 年国内基站天线已占到全部市场份额的 10%,2002 年上升到 25%。同时,由于国产天线的出台,国外厂商的价格下降了 25%~50%。

而据业界估计,中国移动通信在 2G、2.5G 的未来市场将达 3.5~4 亿用户,2007 年用户数量将增加到 3.34 亿,即便这样,在中国的拥有率也不到 25%。因此,基站天线的市场空间还很大。因为手机增加,相应的设备就需要增加。

但是,为如此多的用户服务对中国运营商和管理机构来说面临很大的挑战,特别是中国城市人口密度极大。中国最大的移动运营商中国移动和中国联通在某些城市已经面临频谱能力有限的问题。而智能天线系统可以大大提高无线网络的容量,可以解决这一问题,技术上可行,实施起来又经济。而且智能天线还有效地利用辐射功率消除干扰,降低发射功率及能源消耗,保护生态环境及人类健康,因此成为 3G 核心技术之一。同时,中国第 3、4 张移动牌照将要发放,使市场对基站天线的需求会更大。由此可以想见智能天线在我国民用移动通信领域的市场前景是多么的巨大。加之在雷达、声纳、卫星通信等军事领域的广泛应用,其军品市场也是不可限量的。

我国现在电信业正面临 3G 进入市场的前期,研发智能天线产品,获取具有自主知识产权的智能天线技术,从而更多地提高国内外市场份额是非常迫切和急需。

4 智能天线技术的具体实现方法举例

在此我们以英国 Nallatech 公司(英国宇航公司的子公司)的一种智能天线新产品为例,简要介绍智能天线的具体实现方法,以供参考。

图 1 表示智能天线(多指自适应天线阵列)处理的波束成形数据流。自适应天线阵列

的完全实现需要极大地提高处理能力。原先只有来自一个天线的单独一个数据流，现在有多个数据流需要处理。如图 1 所示，波束成形的数据流程图不是仅有一个数据流，而是有来自 N 个天线单元的 N 个数据流需要处理。

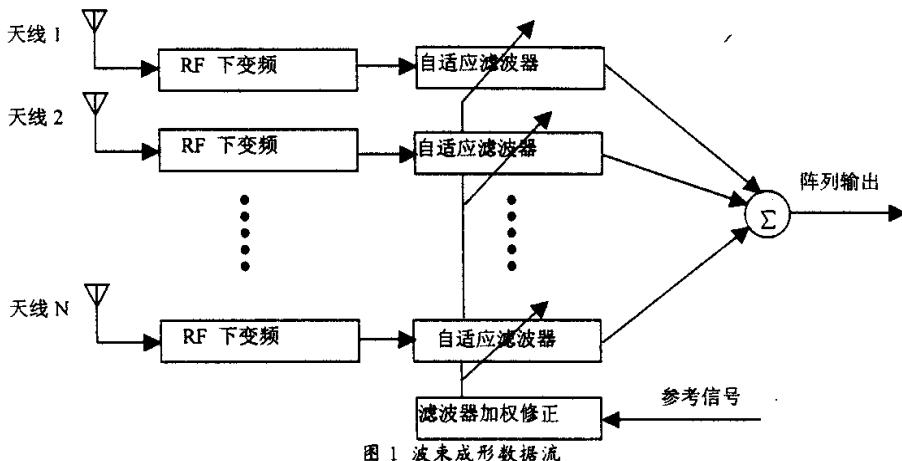


图 1 波束成形数据流

自适应阵列需要进行的基本操作是每个天线的数据流都要经过自适应有限脉冲响应 (FIR) 滤波器。举一个简单的例子：有四个天线和一个窄带系统，这样自适应滤波器进行单一的乘法。我们可知采样速率是每秒 105×10^6 次的话，每秒需要处理 5 亿次乘法累加 (MAC)，这个采样速率是针对单一波束的，而且不包括自适应修正算法的处理要求。对 DSP 处理器的性能来说，如此的处理量似乎显得太小。但如果我们增加天线数量以支持多波束并获得更精细的波束，就会很快用尽标准处理器结构的处理能力而达到每秒几十亿 MAC 的处理要求。

有了 FPGA，我们就有了强有力的 DSP 器件可以采样数据速率满足这些较高的性能要求。而且还可以利用 FPGA 的灵活性直接获得控制及其它 DSP 功能，例如数字下变频、解调和匹配滤波。

图 2 是 Nallatech 公司的一种名为 BenADIC 的数据采集电路板。BenADIC 在一个电路板上用 Xilinx FPGA 实现了高度集成的 20 个信道的数据采集系统，非常适合于处理大型的智能天线阵列或几个较小的阵列。该电路板能够同时以恒定的每秒 105×10^6 次的采样速率采集来自 20 个信号源的数据。模拟输入带宽为 250 MHz。该电路板每秒产生 3.675G 或相当于 5.4 张音碟的数字化数据有待处理。

该电路板具有多个紧耦合输入信道，非常适于处理智能天线阵列。如图 2 所示，20 个输入信道被分成 5 组，每组 4 个。每组的模拟-数字转换器 (ADC) 连接自己的 Xilinx Virtex™-E FPGA，以此处理 4 个信道，如此安排的结构就可以处理 5 个天线阵列，每个天线阵列有 4 个天线。或者用另外一种方法：通过高速内部总线使各组相连，处理 20 个天线组成的一个阵列。

除了天线组各自的 FPGA，还需一块大容量的 FPGA 做进一步的处理，并且通过接口 FPGA 与小型 PCI 底板和 PCI 总线相连互通。与 PCI 底板的数据连通可使得数据发送到系统中的其它电路板。该电路板与 Xilinx DSP 的工具和芯片兼容，还包括强大的“系统产生

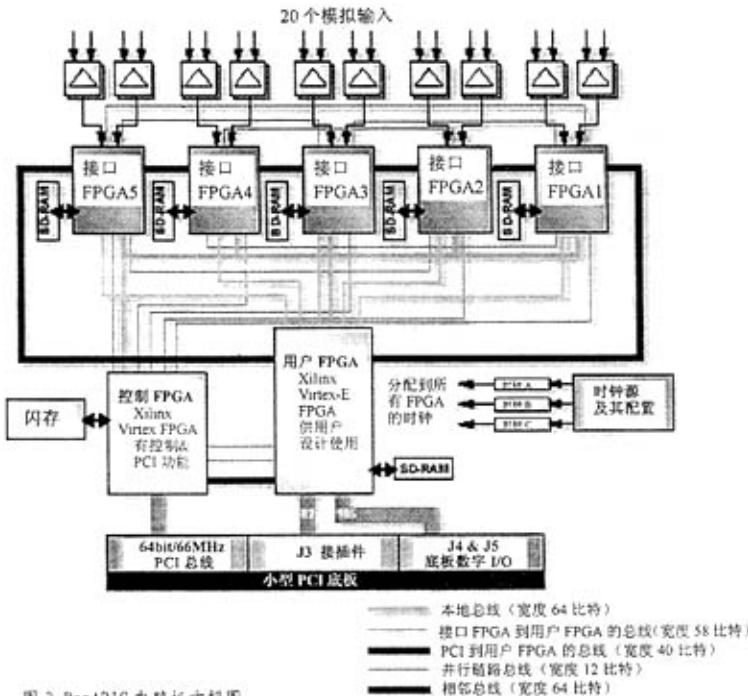


图 2 BenADIC 电路板方框图

器（System Generator）”工具。利用“系统产生器”可以实现和验证你采用的算法，还可以合成并实现你的 FPGA 设计。BenADIC 电路板利用“系统产生器”已成功实现了这一点。

BenADIC 通过该公司的软件可以动态、有选择地改变 FPGA 完成的操作。这种动态修正系统的能力实际就是软件无线电的要点所在：接收机的特性可由软件控制。通过使用相应软件，类似的控制本地经由 PCI、远端经由 TCP/IP 进行处理。

Xilinx FPGA 的优势在于能够迅速重新编程，从而赋予硬件不同的特性。FPGA 的各种性能及其灵活性能够实现先进的 DSP 算法，随之为实现先进的无线接口提供更强的可能性。先进的无线接口的部署和使用可为用户提供更好的业务质量，为运营商提供更大的容量。

作者简介

刘海英 在中国电子科技集团公司第 54 研究所信息中心从事通信情报研究工作。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>