

文章编号: 1001 - 893X (2006)01 - 0010 - 08

# 智能天线技术及其发展<sup>①</sup>

雷剑梅<sup>a</sup>, 陈 敏<sup>b</sup>

(重庆大学 a 通信学院; b 生物医学工程学院, 重庆 400044)

**摘 要:** 首先介绍了近年来智能天线的大体研究现状, 对在该领域开展研究较早且较成熟的日本和欧洲进行了重点介绍。随后从模拟与数字智能天线、单 RF 通道与多 RF 通道智能天线以及普通智能天线与 M MO 三个角度, 结合相应的技术方案对不同技术类型各自的特点和优缺点进行了比较。最后, 讨论了智能天线应用于移动通信的优势, 着重介绍了日本 ATR 研究所研制的可用于移动终端的 ESPAR 天线。

**关键词:** 智能天线; 移动通信; ESPAR; 数字波束形成; 自适应天线

**中图分类号:** TN821      **文献标识码:** A

## Smart Antenna Technology and Its Development

LEI Jian - mei<sup>a</sup>, CHEN Min<sup>b</sup>

( a Communication School; b Biomedical Engineering School  
Chongqing University, Chongqing 400044 China)

**Abstract** International developments in Smart Antenna (SA) are introduced with emphasis on the study in Japan and Europe. Then the merits as well as demerits of analog SA and digital SA, single RF channel SA and multiple RF channel SA, and regular SA and M MO are discussed respectively each accompanied by some corresponding newly emerged technologies. Finally advantages of SA application in mobile communication are presented and the ESPAR developed by ATR is introduced.

**Key words** smart antenna; mobile communication; ESPAR; digital beam forming; Adaptive antenna

### 1 引言

智能天线是能通过调整接收或发射特性来增强天线性能的一种天线<sup>[1]</sup>。通信系统中, 采用智能天线的目的主要有以下 3 点: ① 通过提供最佳增益来增强接收信号; ② 通过控制天线零点来抑制干扰; ③ 利用空间信息增大信道容量。

最早的智能天线是出现在 20 世纪 50 年代的旁瓣对消天线<sup>[2]</sup>, 这种天线包含一个用于接收有用信号的高增益天线和一个或几个用于抑制旁瓣的低增益、宽波束天线, 如图 1 所示<sup>[1]</sup>。将几个这样的环路

组合成阵列天线, 就构成自适应天线。

随着阵列信号处理技术的发展, 与智能天线有关的术语也越来越多。智能天线 ( intelligent antenna)、相控阵 ( phased arrays)、空分多址 ( SDMA)、空间处理 ( spatial processing)、数字波束形成 ( digital beam forming)、自适应天线系统 ( adaptive antenna system) 等不同的说法, 反映了智能天线系统技术的多个不同的方面<sup>[3]</sup>。但总的来说, 智能天线主要包含两类: 开关波束系统和自适应阵列系统。两者中, 只有自适应阵列系统能够在为有用信号提供最佳增益的同时, 识别、跟踪和最小化干扰信号。

① 收稿日期: 2005 - 04 - 06; 修回日期: 2005 - 07 - 05

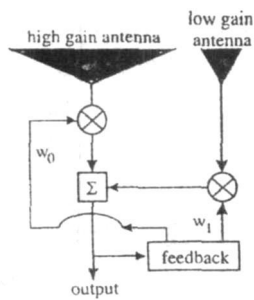


图 1 用于旁瓣对消的单 Howells - Applebaum 环路

2 智能天线研究的发展现状

早期智能天线的研究主要集中在军事领域，尤其是雷达领域，目的是在复杂的电磁环境中有效地识别和跟踪目标。随后，智能天线在信道扩容和提高通信质量等方面具备的独特优势吸引了众多的专家学者，日本、欧洲和美国的许多研究机构都相继开展了针对智能天线的众多研究计划，这也为智能天线的迅猛发展奠定了基础。

2 1 日本的智能天线发展

日本最早开始智能天线的研究是在 20 世纪 70 年代<sup>[4]</sup>。到 1987 年，研究人员已经指出基于最小均方差 (MMSE) 准则的自适应天线能够减小多径衰落<sup>[5]</sup>，因而可以用于高速移动通信应用中。自此，日本学者展开了大量的针对移动通信环境的智能天线研究，包括自适应处理算法、数字波束形成方案、WCDMA 中的多址干扰抑制方法，以及基站和移动终端上分别适用的智能天线类型等等。其中，较早的有日本邮政电信部通信研究实验室的智能天线系统<sup>[6 7]</sup>和 NTT - DoCoMo 公司研制的用于 3G 的 UMTS W - CDMA 体制的智能天线实验系统<sup>[8]</sup>。前者工作于 1.5 GHz 针对 TDMA 方式采用 GMSK 调制，数码率可达 256 kbps，系统利用 4 阵元天线进行多径时延对消以消除多径衰落，权值更新采用恒模算法 (CMA)。在东京进行的实验表明自适应天线技术在无线高速数据传输和存在选择衰落的情况下仍能很好地对消多径时延信号。后者则采用 2D - RAKE 接收机结合最小均方误差 (MMSE) 自适应波束形成算法进行处理。实验系统有 3 个小区基站用以评估切换和其他的网络功能。实验结果表明，就平均误码率 (BER) 而言，智能天线比空间分集有明显改善<sup>[8]</sup>。

此外，日本 ATR 光电通信研究所也研制了基于

波束空间处理方式的多波束智能天线<sup>[9]</sup>。天线阵元布局为间距半波长的 16 阵元平面方阵，射频工作频率是 1.545 GHz。阵元组件接收信号在经过低噪声放大、下变频和模数变换后，进行快速傅氏变换 (FFT) 处理，形成正交波束后，分别采用恒模算法 (CMA) 或最大比值合并分集 (MRC) 算法。野外移动试验确认了采用恒模算法的多波束天线功能。理论分析及实验证明使用最大比值合并算法可以提高多波束天线在波束交叉部分的增益。

在此基础上，ATR 的研究人员提出了如图 2 所示的基于智能天线的软件天线概念：根据用户所处环境不同，影响系统性能的主要因素（如噪声、同信道干扰或符号间干扰）也不同，利用软件方法实现不同环境应用不同算法，比如当噪声是主要因素时，则使用多波束最大比合并 (MRC) 算法，而当同信道干扰是主要因素时则使用多波束恒模算法 (CMA)，以此提供算法分集，利用 FPGA 实现实时天线配置，完成智能处理。

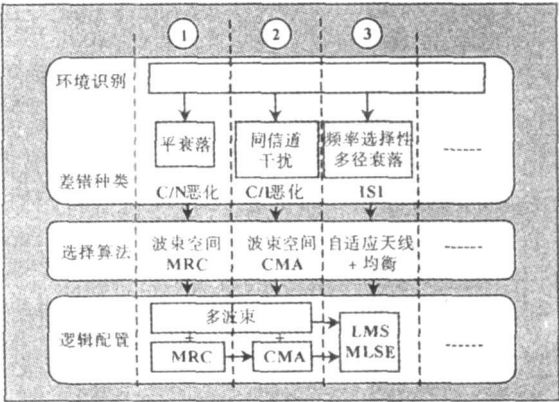


图 2 基于环境选择算法的智能天线概念

随后，ATR 研究所又针对移动通信中移动终端上适用的智能天线形式进行了大量探讨，最终提出了单端口电激励的 ESPAR 天线。该天线巧妙地利用了各阵元之间的耦合，在天线处实现了空间滤波。本文将在第 4 节讨论该天线。

2 2 欧洲的智能天线发展

欧洲通信委员会 (CEC) 在 RACE (Research into Advanced Communication in Europe) 计划中实施了第一阶段智能天线技术研究，称为 TSUNAMI (The Technology in Smart Antennas for Universal Advanced Mobile Infrastructure)，由德国、英国、丹麦和西班牙合作完成<sup>[10 11]</sup>。

项目组在 DECT 基站基础上构造智能天线试验模型,于 1995 年初开始现场试验。天线由 8 个阵元组成,射频工作频率为 1.89 GHz,阵元间距可调,阵元分布分别有直线型、圆环型和平面型 3 种形式。模型用数字波束成形的方法实现智能天线,采用 ERA 技术有限公司的专用 ASIC 芯片 DBF1108 完成波束形成,使用 TMS320C40 芯片作为中央控制。研究方案包括波束空间处理方式和组件空间处理方式。组件处理方式天线是收发全向类型,采用 TDD 双工。系统评估了识别信号到达方向的基于 MUSIC 算法的空间参考自适应波束,和基于 NIMS (Normalized Least Mean Squares) 算法和 RLS (Recursive Least Square) 算法的时间参考自适应波束。

实验系统验证了智能天线的功能,在 2 个用户 4 个空间信道(包括上行和下行链路)下,试验系统的误码率(BER)优于  $10^{-3}$ 。实验评测了采用 MUSIC 算法判别用户信号方向的能力,同时,通过现场测试,表明圆环和平面天线适于室内通信环境使用,而市区环境则更适合采用简单的直线阵。

此后,欧洲通信委员会(CEC)又在 ACTS (Advanced Communication Technologies and Services) 计划中继续进行了第二阶段智能天线技术研究,即 TSUNAMI II,旨在考察第三代移动通信中采用智能天线系统的可行性和具体优势<sup>[12]</sup>。项目组利用 Orange PCS 公司位于英国 Bristol 的第二代 DCS1800 测试网络作为搭建实验平台的基础,在 1998 年 1 月到 5 月间进行了大量宏蜂窝和微蜂窝的实验,用以验证智能天线系统在商用网络中的工作情况。基站处不但设置了一套收发两用的智能天线系统,还保留了一套标准的扇型天线系统。通过对两套系统收发性能的比较,证实了实际的智能天线方向图与理论方向图的一致性,实际所能达到的干扰抑制能力与理想的干扰抑制能力相差通常在 2 dB 以内。实验结果同时也说明,智能天线系统在郊区宏蜂窝环境下的干扰抑制水平比较理想,而在市区微蜂窝环境下的干扰抑制能力则与环境杂波有关。

### 2.3 其他国家的智能天线发展

ArrayComm 公司和中国邮电电信科学研究院信威公司也研制出应用于无线本地环路(WLL)的智能天线系统<sup>[13]</sup>。该产品采用可变阵元配置,有 12 元和 4 元环形自适应阵列可供不同环境选用。在日本进行的现场实验表明,在 PHS 基站采用该技术可以使系统容量提高 4 倍。此外,ArrayComm 公司还

研制出用于 GSM、PHS 和无线本地环路的 IntelliCell 天线,目前,该天线已经在全球多个国家投入实用。

除 ArrayComm 以外,美国 Metawave 公司、Raytheon 公司以及瑞典 Ericsson 公司都有各自的智能天线产品,这些智能天线系统都是针对移动通信开发的,用于 GSM、TDMA 或者 CDMA。

由我国提出的具有自主知识产权的 3G 标准之一——TD-SCDMA 之中就明确规定要采用智能天线。大唐电信与西安海天天线合作开发的“TD-SCDMA 移动通信智能天线系统”项目是西安市 2002 年重点建设项目之一,项目总投资 14 940 万元,正在取得阶段性成果,多套初步成型的天线产品正在紧锣密鼓的测试之中。中山宇通通信设备有限公司也已经研制出一系列适用于 TD-SCDMA 或 SCDMA 的定向和全向智能天线,其定向 TD-SCDMA 天线阵已经进入国家 MTnet 第二阶段测试网测试,结果表明,该天线阵性能卓越,完全符合 TD-SCDMA 系统要求。在 WCDMA 和 CDMA 2000 标准中也已经将智能天线的应用作为下一阶段的发展目标,目前中兴、华为已经证实了在下一代 WCDMA R5/R6 标准的套片开发中将全面支持智能天线技术。

## 3 从多角度看智能天线技术

随着智能天线技术的日趋成熟,其技术种类也开始分化,以下我们将从各种不同的技术角度来进行讨论。

### 3.1 模拟和数字智能天线技术

首先,从大的技术类别来讲,智能天线技术可分为模拟智能天线技术和数字智能天线技术。通常我们所讲智能天线都是与软件无线电联系在一起的数字智能天线技术,而实际上早期的相控阵天线与较新的 ESPAR 天线都采用了模拟智能天线技术。

模拟智能天线技术是指那些无需对射频或变至中频或基带的模拟信号进行模数转换和数字处理,而直接对接收到的模拟信号操作,实现智能天线的功用。这类天线通常比较简单,易于实现,成本也较低。但由于没有将模拟信号数字化,因而很多数字域的信号处理方法都无用武之地,限制了信号处理的可能手段。

数字智能天线技术则指在射频或中频将模拟信号数字化,然后利用丰富的数字信号处理理论和发

达的集成电路技术造就的 DSP、FPGA 或 ASIC 实现快速的数字波束形成 (Digital Beam Forming DBF)。

常用的波束形成算法主要有 2 种: 非盲波束形成算法和盲波束形成算法。非盲波束形成算法通过发送参考信号或训练序列来确定信道响应, 然后根据一定的准则调整权值, 常用的准则有 MMSE (最小均方误差)、LMS (最小均方) 和 RLS (递归最小二乘) 等。而盲波束形成算法又分为 2 种, 一种是依赖于波达方向 (DOA) 估计的盲波束形成算法, 通过对接收到的阵列矢量信号的协方差矩阵进行分析, 从而估计期望信号的方向。如 MUSIC (Multiple Signal Classification) 法和 ESPRIT (Estimating Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) 法, 两者均属于特征结构的子空间法, 利用在阵元个数超过信源个数时, 阵列数据的信号分量所在的低秩子空间能够唯一确定信号的波达方向的原理, 通过奇异值分解精确确定波达方向。另一种则是利用信道的信号处理模型和/或信号的性质估计期望信号方向向量的盲波束形成算法, 如利用通信信号恒模特性的恒模算法和利用信号循环平稳性的盲处理算法。前者要求确知天线的阵列流形, 而且其应用效果与信道条件关系很大, 通常要求每个信号只能有几个清晰的传输路径; 后者则与信道的空间性质或天线的阵列校正无关。

### 3.2 多 RF 通道技术和单 RF 通道技术

现代阵列信号处理多发生在中频 (IF) 或基带, 因此天线和 IF 或基带之间信号幅度和相位的传递就要求十分准确。于是传统阵列接收机都要求为每一个天线单元分配一个单独的射频 (RF) 通道, 这就是多 RF 通道技术。采用多 RF 通道技术构造的智能天线系统结构虽然看似简单明了, 但随着智能天线实用化需求的呼声越来越高, 这种技术带来的问题也日益明显:

(1) 一个  $N$  单元的天线阵需要  $N$  个 RF 通道, 因此, 硬件复杂度和功耗大约是单天线系统的  $N$  倍;

(2) 系统成本高;

(3) 多天线单元加多 RF 通道必然需要多馈线, 也必然增大 RF 电路的复杂度, 从而更容易引入噪声;

(4) 难以实现小型化和集成。

而这些缺陷正是智能天线系统实用化过程中存在的最大障碍。为了解决这些问题, 缩减 RF 通道

个数的技术开始展现其优势。

本文将于 4.2 节详细介绍的 ESPAR 天线采用单有源阵子和多无源阵子结合的方式构成阵列天线, 每个无源阵子下接一个可调电阻。改变每个阵子下接电阻的值就可改变每个天线阵子上的信号相位, 从而利用天线阵子之间的互耦改变空间混合信号, 也就是改变天线方向图。由于  $N$  个阵元中, 只有中心阵元是有源阵子, 所以只需要一个 RF 通道。

日本横滨国立大学工程系的师生们则提出了“跳空” (space hopping) 这一概念<sup>[14]</sup>, 即对阵列天线中  $N$  个阵元接收到的信号进行不同的时间延迟  $T_d$ , 然后根据延迟时间的由短到长的顺序, 对每一路天线阵元的接收信号顺序切换, 以保证  $N$  路接收信号经过切换控制电路后连续进入系统唯一的 RF 通道, 如图 3 所示。阵列中各天线单元等距排列, 距离在  $\lambda/4$  到  $\lambda/2$  之间。如果阵元切换的速度高于接收信号的符号速率, 就叫做“快跳空” (fast space hopping), 反之, 则叫做“慢跳空” (slow space hopping)。设每个阵元切换所需时间为  $t$ , 则“快跳空”时, 所有  $N$  个天线阵元全部接通一次所需的时间  $T (T = N \times t)$  恰好等于接收信号的符号周期  $T_s$ 。这样, 第  $k$  个天线单元接收信号后需要的延迟时间  $T_d = k \times \frac{T_s}{N}$ 。天线单元切换电路所需的定时信号由

早先捕获的符号定时信息控制, 以保证顺序进入 RF 通道的各天线阵元的接收信号是同一时刻的接收信号, 从而保证数字信号处理单元能够正常完成数字波束形成。

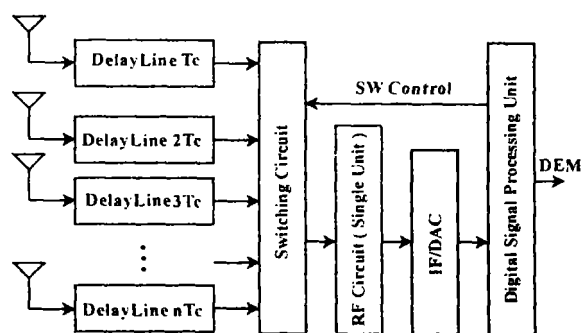


图 3 “跳空”单 RF 通道方案的框图

“跳空”方法在实施之前, 需要系统先获得接收信号的符号定时信息, 而且, 由于该系统中并没有考虑将接收系统的时钟与发射时钟同步, 所以每隔一段时间之后, 接收系统还必须暂停“跳空”操作, 再

次捕捉接收信号的符号定时信息, 以保证接下来的“跳空”能够正常进行。整个符号定时信息的捕获过程见图 4。

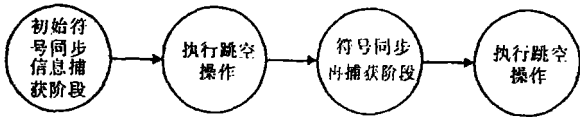


图 4 “跳空”方案的符号定时信息捕获过程

实验证明, 采用这种方案的单 RF 通道阵列天线系统的误码率可以接近传统的多 RF 通道方案。但这种方案的局限性是它无法保留所有原始信号的信息, 因而只适用于短距瑞利多径衰落环境, 并且天线上需要复杂的定时控制单元和可变延迟线, 实际中并不容易实现。

此外, 另一种单 RF 通道的智能天线接收机阵列采用一种本地阵元的空间复用方案 (Spatial Multiplexing of Local Elements SMILE)<sup>[15]</sup>, 利用可高速开关的 PN 二极管, 以高于信号带宽的速度顺序开关每一个天线阵元。这一过程等效于利用脉冲序列对天线接收到的已调载波进行采样。然后, 再通过一种类似通信中 TDMA 的方式将不同阵元所得的空间采样信号复接起来, 通过单馈线输出, 进入系统唯一的射频电路通道。这一组合信号经过放大和下变频, 在 IF 或基带被解复, 还原为每个天线单元的原始信号。接着, 就可以对这个还原后的阵列信号进行采样和数字域的处理, 实现数字波束形成。以 4 单元天线阵为例的系统框图见图 5<sup>[15]</sup>。

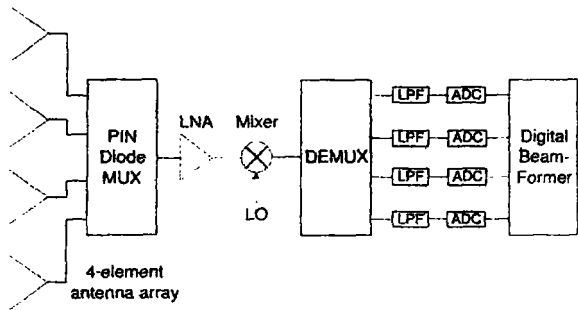


图 5 SMILE 单 RF 通道智能天线系统框图

根据奈奎斯特采样定律, 解复后的阵列信号经过低通滤波之后, 相对于天线处的原始信号, 不会丢失信息。这种单 RF 通道智能天线不但大大降低了 RF 电路的复杂度, 也降低了整个系统的功耗并减小了系统的电路体积, 从而推进了智能天线阵的实用

化进程。但在微波网络中进行采样仍然存在问题, 因为系统在对不同的天线阵元进行切换时, 接收机和天线之间的阻抗匹配特性会发生变化, 所以, 馈电网络的设计必须十分仔细。

3.3 普通智能天线技术和多入多出 (M MO) 技术

普通智能天线技术指的就是前文谈到的诸多智能天线技术, 这些技术有一个共同的特点, 那就是只在通信系统的一端进行智能天线设计, 另一端则并未予以考虑。这样的智能天线系统利用空分复用原理, 对时分复用和频分复用是一种十分有效的补充, 大大提高了信道容量。

然而随后出现的 M MO (多入多出) 技术则又更进一步, 通过增加空间维数来增大系统容量<sup>[16]</sup>。M MO 智能天线在发射端和接收端均采用多天线 (或天线阵), 见图 6。假设发端有 N 个天线单元, 收端有 M 个天线单元。信息流经过空时编码形成 N 个信息子流, 再经由 N 个发射天线发射出去。接收端 M 个接收天线同时接收这 N 个信息子流, 然后利用空时解码将这 N 个信息子流分离开来。M MO 的特点就在于, 通过先进的空时编、解码处理, 可实现各发射天线和接收天线之间的通道响应相互独立。于是, 多发射天线和多接收天线之间就建立起多个共用同一频带的并行的空间通道, 每个通道可以独立地传输信息。因此, 多入多出智能天线能够在不增加带宽的情况下, 成倍地提高通信系统的容量和频谱利用率。

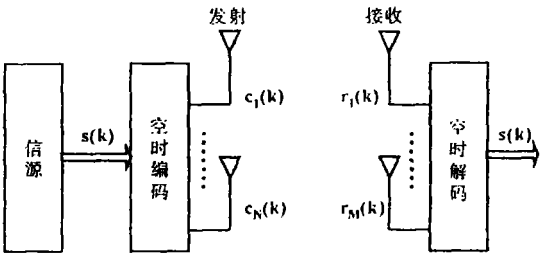


图 6 M MO 系统框图

假设收发天线之间的信道均为相互独立的瑞利衰落信道, 并假设 M、N 均较大, 那么信道容量可近似为  $C = [\ln(M, N)] B \log_2(\rho/2)$ 。其中, B 为信号带宽,  $\rho$  为接收端的平均信噪比。由该式可以看出, 当功率和带宽固定时, M MO 系统的最大容量随较少一端天线数的增加而线性增加。而同样条件下的普通智能天线系统的容量, 则只随天线个数的对数增加。比较而言, M MO 技术在增大系统容量方

面的潜力就更加明显。

#### 4 应用于移动通信的智能天线

随着近期移动通信的飞速发展和普及, 用户数量急剧膨胀, 传统的时分复用、频分复用和码分复用已经渐渐难以满足需要, 现有的移动通信系统亟待扩充容量, 于是利用空分复用 (SDM) 技术的智能天线便成为一个研究热点。

将智能天线用于移动通信可带来如下好处<sup>[17]</sup>:

(1) 增大信道容量——通过空分复用来补偿时分、频分和码分的仍不能满足的对信道容量的需求;

(2) 提高频谱效率;

(3) 扩大基站覆盖范围;

(4) 激励多波束以便同时跟踪多个目标;

(5) 可对孔径抖动进行电补偿;

(6) 减小时延扩展;

(7) 减小多径效应的影响;

(8) 降低邻道干扰——智能天线系统应用于移动通信时最重要的性能之一就是消除邻道干扰。邻道干扰是由使用同一组信道频率的通信设备同时发射信号时产生的。而通过直接将波束对准目标信号, 将波束零点对准其他接收机, 这样就能降低发送模式下的邻道干扰。在接收模式下, 只要已知信号源的方位, 就可以使用干扰抵消策略来降低邻道干扰;

(9) 降低系统复杂度;

(10) 降低误码率;

(11) 降低通话中途断线的可能性。

根据应用环境造成的增益、波束宽度和天线尺寸要求的不同, 移动通信中的智能天线主要分为基站用智能天线和移动终端用智能天线。

##### 4.1 基站用智能天线

以往的基站天线一般采用固定波束天线, 天线方向图为扇形。当移动终端位于波束边缘时, 就比较容易造成断线。而基站用智能天线多采用多波束天线, 这样的天线以多个高增益窄波束动态地跟踪多个期望用户, 在接收模式下抑制来自窄波束之外的信号, 在发射模式下能使期望用户接收的信号功率最大, 同时使窄波束照射范围以外的非期望用户受到的干扰最小, 甚至为零。

##### 4.2 移动终端用智能天线

虽然近几年国内外的智能天线研究都十分火

热, 但绝大多数的讨论是针对基站用智能天线进行的。因为基站用智能天线安装在移动通信的基站上, 其体积受到的限制比较小, 因而天线的一些机械参数, 例如阵元个数、阵形安排、阵元间距及阵元尺寸等, 都可以在较宽松的范围内进行设计, 较易使天线达到预期的性能指标。而移动终端用智能天线的设计则相对非常困难。首先, 手机的便携性限制了其体积, 也就同时限制了天线的许多机械参数——阵元个数不能过多, 阵元间距不能过大, 阵形也受到一定限制。这就同时限制了天线的增益、指向性等性能。其次, 智能天线的阵列性质使得天线后的 RF 处理电路很难简化, 因为通常的阵列天线阵元个数就决定了 RF 电路的通道个数, 即有  $N$  个阵元就需要  $N$  套相同的射频处理电路, 而各射频通路的平衡性也很难实现, 从而更加增大了中频和基带处理的难度。

国内外针对移动终端用智能天线所作的研究中, 较突出的是日本 ATR 研究所研究的电激励单端口 ESPAR 天线, 该天线巧妙利用各阵元之间的耦合, 在天线上实现空间滤波, 简化了 RF 电路。

ESPAR 天线结构<sup>[18]</sup>如图 7 所示, 天线为一个  $7$  单元  $\lambda/4$  单极阵子的六边形阵, 其中只有中心阵元是有源阵子, 其他 6 个阵元均为无源阵子, 分别下接一个可变电阻, 对称分布在以中心阵子为圆心、半径为  $\lambda/4$  的圆周上。天线的作用原理就是通过一种自适应算法改变每个阵元下可变电阻的阻值, 从而改变天线的方向图, 形成对准目标的波束和对准干扰的零点。

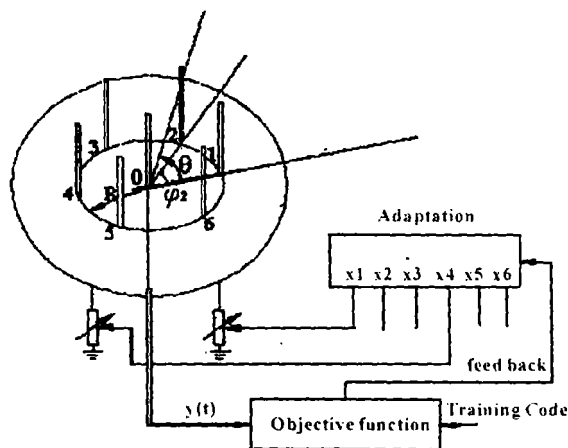


图 7 ESPAR 天线原理图

ESPAR 天线由于只有一个有源阵子, 因而只需一个 RF 端口, 这大大简化了整个系统所需的 RF 电

路。同时,该天线采用了模拟方法实现波束形成,也极大地降低了天线系统的成本,为将其应用于移动通信的移动终端提供了保障。

但也正是由于 ESPAR 天线在天线处就利用耦合实现了空间滤波,中频接收到的只是单 RF 通道传送下来的信息,每个单元天线接收下来的信号经过混合之后,其幅度和相位信息均被丢失,故无法利用先进的矢量信号处理办法。

图 8 为 ESPAR 天线的结构示意图<sup>[18]</sup>,图 9 为 ESPAR 天线实物模型照片。

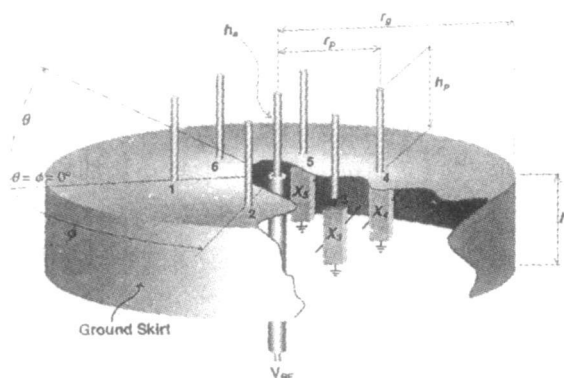


图 8 单元 ESPAR 天线示意图

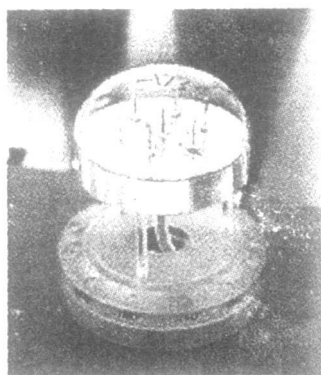


图 9 ESPAR 天线实物照片

## 5 结语

随着技术的发展,智能天线已经从理论走向了实用。除了前文谈到的适用于移动通信的智能天线产品外,智能天线在宽带无线网络中也开始一展所长。美国 Turowave 研制的用于 Wi-Fi 的右旋圆极化智能天线最大增益可达 16 dB;专门研究将智能天线集成入 IC 的 Motia 公司也推出了适用于 Wi-Fi 的 Javelin 芯片,该芯片将智能天线技术集成到

2.4 GHz 无线 LAN 卡和接入点,摩托罗拉公司已宣布将采用 Motia 公司的智能天线技术扩大未来 Wi-Fi 设备的覆盖范围,提高信号强度;FIDELITY COMTECH 公司也推出了其专利的适用于天线局域网(WLAN)的智能天线产品,并称其能在几毫秒时间内动态改变天线方向图;Vivato 公司也在其 802.11b Wi-Fi 交换机中使用了智能天线,以实现较大的室内和室外覆盖范围。

国内外对智能天线的研究方兴未艾,新的智能天线产品层出不穷,本文不可能一一列举。但智能天线技术的发展步伐日益加快,应用前景日益广阔却是不争的事实。相信不久的将来,不论是模拟或是数字智能天线,单 RF 通道或是多 RF 通道智能天线,普通智能天线或是多入多出智能天线,都能在市场上找到属于它们自己的舞台,让我们拭目以待。

## 参考文献:

- [1] Randy L Haupt. Antennas and Propagation Society International Symposium 2001 (Vol 4) [C]. IEEE July 2001 48~51
- [2] P W Howells. Explorations in fixed and adaptive resolution at GE and SURC [J]. IEEE AP-S Trans., 1976 24(5): 575~584
- [4] Yasutaka Ogawa, Takeo Ohgane. Advances in Adaptive Antenna Technologies in Japan [J]. IEICE TRANS. COMMUN., 2001 E84-B(7): 1704~1712
- [5] Y Ogawa, M Ohmura, K Itoh. An IMS adaptive array for multipath fading reduction [J]. IEEE Trans. Aerosp&E Electron Syst., 1987 AES-23(1): 17~23
- [6] Ohgane T. BER performance of CMA adaptive array for high speed GMSK mobile communication - a description of measures in Tokyo [J]. IEEE Trans. 1993 VT-42: 484~490
- [7] T Ohgane. An implementation of CMA adaptive array for high speed GMSK transmission in mobile communications [J]. IEEE Trans. 1993 VT-42: 282~288
- [8] Adachi F. Application of adaptive antenna arrays to W-CDMA mobile radio [C] // The 5th Stanford Smart Antennas Mobile Wireless Commun. Workshop 1998 23~24
- [9] Isamu Chiba. Digital beam forming antenna system for mobile communications [J]. IEEE AES Systems Magazine 1997 31~41.
- [10] Tsoubs G, McGeehan K, Beach M. Space division multiple access (SDMA) field trials Part I: tracking and BER performance [J]. IEEE Proc. Radar Sonar Navig.

1998 145(1): 73 ~ 78.

[11] Planning UTM S with adaptive antennas[ R] . STORMS Project Rep., 1997.

[12] P A Howard C M Simmonds M N M ISNG DOWN LNK NTERFERENCE N CELLULAR SYSTEMS WITH ADAPTIVE ANTENNAS - RESULTS FROM TSUNAMI ( II)[ C]. IEE National Conference on Antennas and Propagation 1999.

[13] 李小明, 胡建栋. 未来移动通信系统中的智能天线技术[ J]. 现代电信科技, 1999 (3).

[14] S Ishii A Hoshikuki R Kohno Space hopping scheme under short range Rician multipath fading environment [ C]. Proc IEEE Veh Technol Conf 2000 99~104

[15] Jonathan D Fredrick Yuanxun Wang Tatsuo Itoh A Smart Antenna Receiver Array Using a Single RF Channel and Digital Beam forming[ J]. IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY, 2002 50(12): 3052 ~ 3058

[16] 龚耀寰. 自适应滤波——时域自适应滤波和智能天线[M]. 第二版. 北京: 电子工业出版社, 2003 356 ~ 358.

[17] Michael Chryssomallis Smart Antennas[ J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine 2000 42(3): 129 ~ 137

[18] Robert Schlub Junwei Lu Takashi Ohira Seven - element ground skirt monopole ESPAR antenna design from a genetic algorithm and the finite element method[ J]. IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION 2003 51(11): 3033 ~ 3039

# 作者简介:



雷剑梅, 女, 重庆人, 重庆大学通信学院博士研究生, 主要从事智能天线和阵列信号处理理论与应用的研究, (电子邮箱) d2121004@ccee.cqu.edu.cn

陈, 男, 重庆人, 重庆大学生物医学工程学院博士研究生, 主要从事网络通信及远程医疗系统的研究, (电子邮箱) cm210@sina.com.

## 《电讯技术》动态

密切关注军事前沿动态, 及时报道热点新闻信息  
瞄准尖端科技, 服务研发部门

《电讯技术》动态(月刊)是由本刊编辑部编辑出版的内部性刊物, 主要刊登涉及航空电子、航天电子、情报侦察、识别等领域的国外研究进展、研究成果、发展趋势的综合评述、论文、译文及动态信息。是从事工程技术与开发、情报研究与咨询等方面的科研人员以及相关领导较好的参考资料, 内容新颖, 报道及时, 可读性强。

《电讯技术》动态为大 16开本(A4), 彩色封面, 每月 15 日出版, 需要订阅的单位或个人请直接汇款到编辑部订购, 全年订价(工本费)为 120.00 元。

编辑部地址: 四川省成都市茶店子东街 48 号 联系方式: 成都 94 信箱 16 分箱 邮政编码: 610036

电 话: (028) 87555632 传 真: (028) 87538378 E-mail: dxnunjishu@china.com

欢迎赐稿! 欢迎订阅!