

# 一种智能天线结构

谭泽富 谢小维

(重庆三峡学院电子工程系, 重庆万州 404000)

**摘要:** 为减少系统所需的硬件资源, 首先提出了在中频采样, 进行数字信号处理, 在基带进行阵元加权的方法, 并且对它进行了证明。这种方法具有一定的优越性。在目前的技术条件下, 智能天线是可以实现的, 能节省一些硬件资源, 降低系统的要求。

**关键词:** 智能天线; 中频采样; 基带加权 MUSIC 算法

**中图分类号:** TN821+.91   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1009-8135 (2004) 05-0108-04

## 一、简介

智能天线利用信号处理技术, 使天线波束对准用户信号到达方向, 零陷对准干扰信号到达方向, 达到充分高效利用移动用户信号并删除或抑制干扰信号的目的。它相当于空时滤波器, 可显著降低用户信号彼此间干扰。

智能天线通常包括固定多波束天线和自适应阵智能天线。固定多波束天线根据用户在小区中的位置, 选择相应的波束。因为用户信号并不一定在固定波束的中心处, 当用户位于波束边缘, 干扰信号位于波束中央时, 接收效果最差, 所以固定多波束天线不能实现信号最佳接收。但是与自适应阵天线相比, 固定多波束天线具有结构简单、无需判定用户信号到达方向的优点。

自适应阵天线根据接收的信号调整各阵元的加权系数, 实现信号的最佳接收。自适应阵天线一般采用阵列结构, 如直线型、圆环型和平面型等。目前由于数字信号处理能力的限制, 一般采用 4~16 天线阵元。自适应阵天线系统采用数字信号处理技术识别用户信号到达方向, 并在此方向形成天线主波束。自适应阵天线根据用户信号的不同空间传播方向提供不同的空间信道, 等同于信号有线传输的线缆, 有效克服了干扰对系统的影响。

根据目前的技术水平, 自适应天线的数字信号处理可以在中频和基带完成。它们都是通过 A/D 转换后采用 DSP 或 FPGA/ASIC 来实现对各阵元加权系数的控制, 实现加权。根据采样原理, 在中频采样的采样速率高, 对 A/D 转换器有比较高的要求, 而且, 由于需要处理的样本更多, 对 DSP 处理的要求也较高。但是在中频处理具有硬件少, 容易兼容各种基站的优点。

## 二、基带和中频的加权值

由于技术和成本等原因, 目前智能天线主要安装在基站上。基站接收的信号是射频信号, 经过震荡器后, 变成中频信号, 经过解调以后成为基带信号。下面证明, 在中频和在基带解调器输出信号时的加权值是一样的。假设采用 QPSK 调制, 那么解调输出时的 I、Q 两路信号的加权值和中频的加权值是一样的。而如果加权值一样, 就可以在中频求出控制的加权值, 来控制在基带的信号。这具有重要的意义。因为, 如果在基带进行信号处理, 虽然降低了对信号处理的要求, 也有相对于中频更高的精度, 但是需要更多的硬件来实现。每个信道都需要有一套信号处理系统, 同时, 在基带处理带来的问题是, 针对每种基站都需

收稿日期: 2004-7-25

作者简介: 谭泽富 (1969-), 男, 重庆万州人, 硕士研究生, 重庆三峡学院副教授。

要重新设计。而在中频处理又在中频进行信号加权的话，要对每个用户进行下变频，虽然软件无线电中有专用的下变频器，这增加了对计算的要求，采用硬件实现也要比较多的硬件来实现。如果在中频计算加权值，在基带对接收进行加权，可以降低对硬件的需求，减少系统的成本。下面以 QPSK 为例，证明中频和基带具有相同的加权值。

假设有 I 个正在发射的移动台，基站的天线阵元数为 K，第 i 个移动台发射信号的中频信号为  $x(t)$ ，由于多径，第 k 个阵元接收第 i 个移动台有  $N_{k,i}$  个多径信号。这样，第 k 个天线阵元的接收信号为：

$$r_k(t) = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^{N_{k,i}} \rho_{k,i,m} e^{j\psi_{k,i,m}} a_k(\theta_{k,i,m}) x_i(t) + n_k(t) \quad (1)$$

上式中  $N_{k,i}$  是第 k 个阵元接收的第 i 个移动台的多径信号， $\rho_{k,i,m}$ 、 $\psi_{k,i,m}$  和  $\theta_{k,i,m}$  分别是第 k 个阵元接收的第 i 个移动台、第 m 个多径信号的强度、相对相位和入射角。 $n_k$  是噪声。这个表达式适合于宽带和窄带信号。可以将这个表达式简洁表示为：

$$r_k(t) = \sum_{i=1}^I h_{k,i} x_i(t) + n_k(t)$$

经过  $1/T$  速率的采样后，可以表示为：

$$r_k(nT) = \sum_{i=1}^I h_{k,i} x_i(nT) + n_k(nT)$$

为表达简洁，下面省略括号中的  $T$ ，直接用  $n$  表示  $nT$ 。它的最佳滤波器加权值为：<sup>[1]</sup>

$$W(n) = R^{-1}(n)U(n)$$

其中  $R(n) = E[r(n)r^H(n)]$

$$U(n) = E[r(n)d^H(n)]$$

$$r(n) = [r_1(n), r_2(n), \dots, r_I(n)]^T$$

$d(n)$  是参考信号。 $H$  表示共轭转置。 $T$  表示转置。

接收信号的解调，相当于经过低通滤波器，变

成基带信号，一般而言，解调是通过乘以  $\cos \omega t$  和  $\sin \omega t$  实现的，滤波后变成 I、Q 两路。下面以  $\cos \omega t$  为例，说明解调后加权系数也是一样的。对  $\cos \omega t$  路而言，解调其实是相当于乘以  $e^{-i\omega t}$ ，因而，解调后的输出信号  $r'(t)$  为

$$r'_k(t) = r_k(t)e^{-i\omega t} \quad d'_k(t) = d_k(t)e^{-i\omega t}$$

经过 A/D 转换后，

$$r'_k(n) = r_k(n)e^{-i\omega n} \quad d'_k(n) = d_k(n)e^{-i\omega n}$$

从上式可以看出

$$R(n) = R'(n), \quad U(n) = U'(n)$$

也就是说，在基带和在中频，它们的加权值是相同的。

这个结论在 CDMA 系统中也是成立的。解扩前接收信号也可以用(1)式表示，信号解扩实际上相当于乘以  $c(t)$ ，其中  $c(t)$  为伪随机码。由伪随机码的正交归一特性，同样，通过计算最佳加权系数，可知扩频并没有改变加权系数。

### 三、实现方案

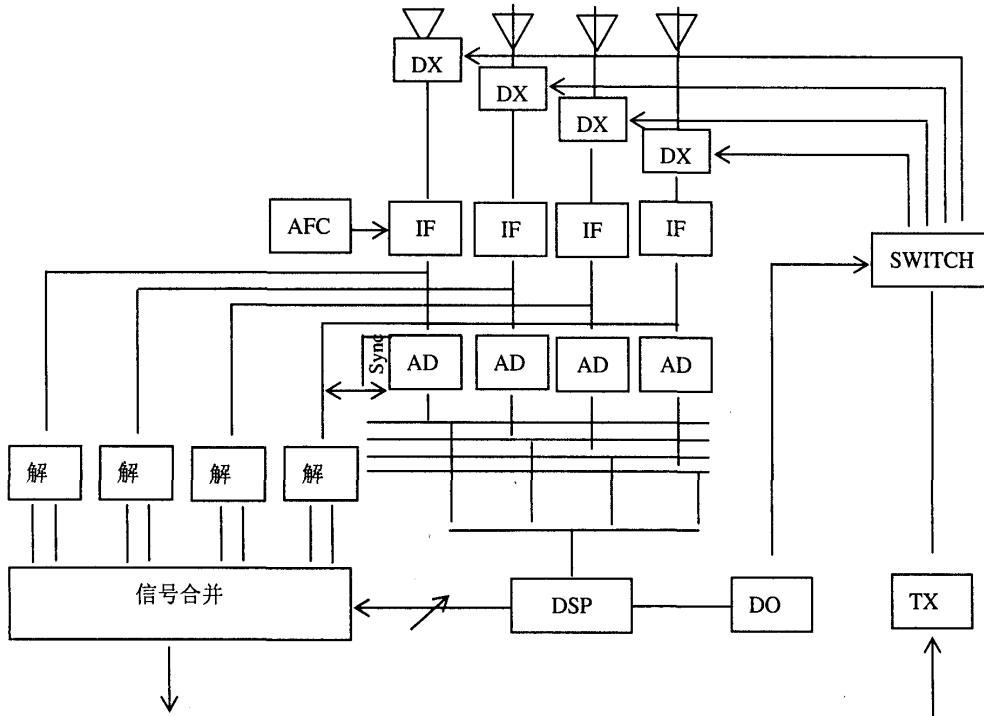
可以采用的有固定多波束天线和自适应阵天线两种，在上行链路中，如果采用固定多波束天线，由于多径产生的弥散现象以及用户在同一角度影响接收性能等原因，使其难以有比较好的系统性能。故而在上行链路采用自适应阵天线较好。在下行链路中，采用自适应阵天线需要对每个用户进行跟踪，在目前的情况下，实现还比较困难。因而，结合使用自适应阵天线和固定多波束天线是一个比较好的解决方案。爱立信研究小组提出了三种下行链路方案：即固定多波束天线、采用交织的固定多波束天线以及自适应阵天线。<sup>[2]</sup>其中固定多波束天线是最简单的一种。本文采用自适应阵天线和固定多波束天线相结合的方案。下面图一是系统的原理图。

由于传播过程中的多径现象等，需要保证各接收信号的同步，目前有几种解决方案，采用过采样来实现同步是一种比较常用的方法，如八倍采样。利用代价函数，将 SYNC 域各字符和过采样中各组采样（如八倍采样则是八组）信号进行相关处理，取相关值最大的一组。具体可以参看文献[4][5][6]等。

自动频率调整(AFC)如果采用单个天线调整，

容易出现各天线元频率不同的缺点，应该采用协调调整的办法。主要是根据接受信号的相位和理想信号相位的比较来调整的。可以采用长期和短期调整，

短期调整是指在进一步处理之前消除频率误差，而长期调整则根据短期内的频率误差估计来调整。可以参看文献[4]。



图一 自适应阵天线和固定多波束天线相结合的方案

系统上行链路的数字信号处理部分和信号合并不是分开进行的，信号在中频经过功率分流分成两部分。一部分在中频进行采样，变成数字信号，经过数字信号处理，计算各接收信号阵元的加权值。另一部分信号经过解调，变为基带信号，各接收天线为每个用户输出 I、Q 两路，利用计算得到的加权值对各信道进行信号合并，输出处理后的信号。这儿计算加权值在中频，而进行信号综合则在基带。由于 M 个天线只能产生 M 个波束，最多只可以跟踪 M 个用户，下行链路采用自适应天线是不现实的。故而下行链路采用固定多波束天线，以减少系统的复杂度。

这个实现方案综合了自适应天线和固定多波束天线的优点，既能得到自适应天线优越的处理性能，又可以综合固定多波束的优点。采用中频加权和在基带进行信号综合，可以节省较多的硬件

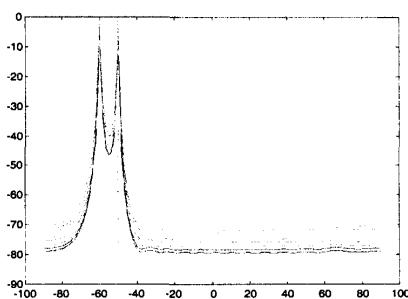
资源。根据目前的技术条件，这个方案是可以实现的，同时，也减少了很多系统所需的硬件资源。

#### 四、优缺点及算法实例

利用中频进行数字信号处理，在基带进行阵元加权的方法，由于中频的数字信号处理不影响将要进行加权的信号，可以带来一些优点。譬如，计算加权值时可以利用欠采样，大大降低对系统的要求：如果进行下变频处理，采样频率至少为中频频率的两倍。由于在中频处理，智能天线更容易兼容于各种系统。它的缺点是，由于是中频处理，其处理的精度有所下降，同时，需要保证以后系统的相位同步。

适用于中频数字信号处理的算法，由于没有采样定理的限制，应该都可以在欠采样的情况下进行处理。其实，欠采样在高频率无模糊估计等已有应用。<sup>[7]</sup>这里采用 MUSIC 算法，说明在中频进行信号处理，基带进行加权是可行的。通过 MUSIC 算法

计算 DOA，进行天线阵元的加权。MUSIC 算法的表达式为：<sup>[8]</sup>



图二 信号到达角(DOA)的估计图

$$P_{MUSIC} = \left[ \sum_{i=K+1}^N a^H(\theta_d) e_i e_i^H a(\theta_d) \right]^{-1}$$

图二是一个对信号到达角(DOA)的估计图。信号为 BPSK，频率 900MHz，采样率 360MHz，信噪比 20dB，采样数 200。图中的十条曲线表示了十次重复运算估计出来的图形。纵坐标表示  $P_{MUSIC}$  (dB)，横坐标表示角度。

## 五、结论

本文主要讨论了一种智能天线的实现方案，并且提出了自己在中频采样，进行数字信号处理，在基带进行阵元加权的方法，并且对它进行了简单的证明。采用这种方法具有一定的优越性，在目前的技术条件下，是比较容易实现的。

## 参考文献：

- [1] Simon Haykin. Adaptive filter theory [M]. 电子工业出版社, 1998
- [2] Soren. Anderson et al. Adaptive antenna for GSM and TDMA systems [J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(3): 74-85.
- [3] Jack H. Winters .Smart antenna for wireless systems [J]. IEEE personal Communications, 1998, 5(1): 23-27.
- [4] Karl J. Molnar et al. Adaptive array processing MLSE receivers for TDMA digital cellular/PCS communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(8): 1340-1351.
- [5] Yingjie Li et al. Performance evaluation of a cellular base station multibeam antenna [J]. IEEE transactions on vehicular technology, 1997, 46(1): 1-9.
- [6] K. Jamal, G. Brismark, and B. Gudmundson. Adaptive MLSE performance on the D-AMPS 1900 channel [J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 1997, 46(3): 634-641.
- [7] 唐斌、熊英、肖先赐. 基于高阶统计的欠采样多信号频率估计 [J]. 仪器仪表学报, 1999, 20(3): 229-232.
- [8] 刘德树、罗景青、张剑云. 空间谱估计及其应用 [M]. 中国科学技术大学出版社, 1997. 8.

(责任编辑: 李 涛)

## A Kind of Intelligent Antenna Scheme

Tan Zefu Xie Xiaowei

(Dept. of Electronic Engineering, Chongqing Three Gorges University, Wan Zhou 404000, ChongQing)

**Abstract:** An implementation of intelligent antenna is introduced in this paper. We use adaptive antenna in uplink and switched-multi-beam antenna in downlink. We propose that we finish digital signal processing in IF while adjusting the weights in base-band, and prove this implementation. It has some advantages: it can be easily realized under the current technical conditions; it can save some hardware resources; it can decrease the system's demand.

**Key Words:** intelligent antenna; sample in IF; adjust weights in base-band; MUSIC algorithm

## 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](http://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](http://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](http://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>