

# 不采用自适应算法的智能天线系统

冯正和, 张志军

(清华大学电子工程系微波与数字通信国家重点实验室, 北京 100084)

**摘要:** 本文提出了一种基于等旁瓣针状波束方向图的智能天线。为了与采用自适应算法的智能天线进行对比, 本文分别模拟了这两种不同智能天线用于 CDMA 系统时的扩容能力。模拟结果表明, 在 CDMA 系统中无需采用自适应算法, 只需用等旁瓣针状波束智能天线, 就可以达到与自适应智能天线相似的扩容性能。等旁瓣针状波束智能天线的优点是: 无需迭代, 响应速度快、鲁棒性好。

**关键词:** 智能天线; 圆形阵列; CDMA 系统

## Smart Antenna without Employing Adaptive Algorithm

FENG Zheng-he, ZHANG Zhi-jun

(Department of Electronics Engineering, Tsinghua University, Beijing 10084, China)

**Abstract:** A smart antenna based on equal side-lobe pencil patterns was proposed in this paper. For comparing with smart antennas which employ adaptive algorithm, the capacity enhancement of both smart antennas in CDMA system is evaluated. The simulation result shows that the adaptive algorithm does not have to be employed. Smart antennas with equal side-lobe pencil patterns has almost the same capacity enhancement performance. Merits of equal side-lobe pencil pattern smart antennas are without iteration, faster response and better robustness.

**Key words:** smart antenna; circular array; CDMA

### 一、引言

随着移动通信在中国的迅速普及, 有限的通信频带已日趋拥挤。为了提高通信频带的利用率, 人们已采用了多种信道复用方法: 频分多址 (FDMA)、时分多址 (TDMA)、码分多址 (CDMA) 等。但是它们扩展容量的能力并不是无限的。智能天线<sup>[1-6]</sup>从一个崭新的角度来研究通信扩容问题, 它利用空间分集进行扩容。它可以和传统的复用技术相结合, 最大限度地利用有限的频带资源, 还可以有效地解决干扰问题、扩大基站覆盖区域、减少辐射功率。

智能天线以扩容原理分可以分为两类:

1. 软容量的扩容<sup>[1-3]</sup>。如 CDMA 系统, 在这类系统中, 由于可用信道数足够多, 系统的容量决定于系统的信噪比。智能天线可以提高系统的信噪比, 对于给定的信噪比门限值, 采用智能天线的系统可以容纳更多的用户, 达到扩容的目的。
2. 硬容量的扩容<sup>[4-6]</sup>。如 FDMA, TDMA 等系统, 在这类系统中智能天线利用其空间分集的能力, 使空间角度不同的多个用户使用同一传统信道(频分信道、时分信道)。硬容量扩容实际是将一个传统信道再分为若干个空分信道, 从而成倍地提高系统容量。

智能天线以实现形式分类, 也可分为两类:

1. 自适应算法形成方向图。自适应算法通常以输出信号的信噪比最大作为目标函数, 用迭代算法使系统信噪比最佳。

2. 等旁瓣针状波束方向图。它通过测角确定用户信号的到达方向 (DOA), 然后将等旁瓣方向图的主瓣指向用户方向, 从而提高用户的信噪比。该方案中的 DOA 检测是一个比较成熟的技术, 已经有 MUSIC<sup>[7]</sup>、ESPRIT<sup>[8]</sup>等多种算法, 900MHz 移动通信频段的实验结果也已见报道<sup>[9]</sup>。

表 1

	自适应方向图	针状波束方向图
软容量扩容	[1-3]	本文
硬容量扩容	[5-6]	[4]

将智能天线按扩容原理、实现形式进行联合分类可得表 1。已有的工作已对自适应软扩容、自适应硬扩容、针状波束方向图硬扩容进行了研究。本文将比照自适应软扩容智能天线, 对针状波束软扩容智能天线进行研究。

### 二、自适应智能天线和针状波束智能天线

图 1 是智能天线波束控制系统的原理框图。智能天线是一种阵列天线, 所有智能天线系统都是通过改变阵列天线中各阵元信号的加权然后将其叠加, 来完成信号的空间处理的。对于一个有  $N$  个单元的智能天线系统, 处理每一个用户需要  $N$  个等效的加权器, 若共有  $M$  个用户, 则需  $N \cdot M$  个等效加权器。在实际系统中, 多个等效加权器的工作可由一个高性能的处理芯片完成, 从而大大地减少系统的复杂程度。图 1 中给出的系统可以完成对一个用户信号的处理。智能天线的不同

• 收稿日期: 1998-08-01; 修订日期: 1998-11-13。国家自然科学基金资助项目 (69871014), 国家 863 通信高科技项目 (863-317-03-01-015-99)

实现形式, 主要体现图 1 框图的波束控制模块的实现形式上, 下面将分别进行讨论。

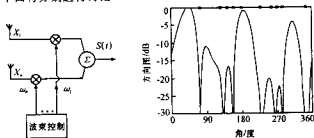


图 1 智能天线波束控制原理框图 图 2 自适应方向图

自适应智能天线系统, 通过迭代来获得一组加权矢量, 从而使阵列输出信号  $S(z)$  中所需信号对所有其它用户信号的比最大, 即信号干扰比最大。采用这种实现方式, 系统具有最高的信干比, 但是由于采用迭代方式, 系统的响应速度受到限制, 对于高速运动的移动用户, 系统的性能也将受到影响。

$$g(\theta) = \sum_{m=1}^M \omega_m \cdot e^{j\theta \cdot \phi_m(\theta)} \quad (1)$$

当加权信号已知时, 阵列天线方向图可由式(1)算出。式

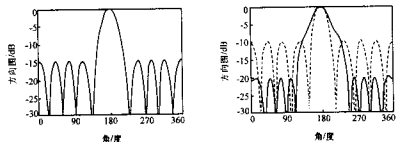


图 3 -15dB 等旁瓣针状波束方向图 图 4 -10dB, -20dB 等旁瓣针状波束方向图 图 5 32 用户时四种智能天线系统的累积概率分布

### 三、智能天线系统对仿真结果

本节分别给出了采用自适应方向图 (Applebaum 算法<sup>[11]</sup>)、-10dB 等旁瓣针状波束方向图 (如图 4 虚线)、-15dB 等旁瓣针状波束方向图 (如图 3)、-20dB 等旁瓣针状波束方向图 (如图 4 实线) 的四种智能天线系统性能的仿真结果。仿真所用系统采用相邻阵元间距为半波长的 8 元圆形阵列, 假设阵列采用各向同性单元。仿真时对于自适应智能天线不考虑迭代过程, 为系统最终稳态结果。

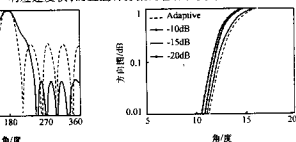
本文仿真均假设 CDMA 系统具有理想的功率控制, 系统的扩频系数为 128, 无语音激励, 小区内除用户外无其它干扰, 无邻近小区干扰, 无多径干扰, 系统的门限值  $E_b/N_0 = 6\text{dB}$ 。根据上述假设一个采用全向天线的基站可支持的最大用户数为 32。

图 5 给出了一个门限值为 6dB 的 32 用户 CDMA 系统中, 在基站引入四种不同智能天线后, 系统  $E_b/N_0$  的累积概率分布。图 5 中每条曲线都是 10000 次随机用户分布的统计结果。由图 5 可以看出, 采用智能天线以后, 系统的  $E_b/N_0$  得到了显著的提高。这表明, 在不增加用户数目的条件下, 采用智能天线可以减少系统所需信号功率, 增加基站覆盖面积。当出界概率为 0.01 时, 采用自适应方向图、-10dB 等旁瓣针状

中  $g(\theta)$  为阵列方向图;  $\omega_m$  为第  $m$  路信号的加权值;  $\phi_m(\theta)$  是信号从空间角度到达阵列单元  $m$  时的相位差。

图 2 是一个阵元间距为半波长的 8 元圆形自适应阵列在 1 用户、10 干扰用户的一种随机分布通信环境下对应的方向图。由图 2 可见, 系统在干扰方向形成凹点, 并在所需信号方向形成峰值。通常自适应算法在无干扰信号的其他角度上也可能出现峰值。

图 3 是等旁瓣针状波束方向图, 等旁瓣针状波束方向图也可由(1)式计算出。等旁瓣方向图与自适应方向图的不同在于加权信号产生的方式不同, 等旁瓣方向图的加权值是预先计算好的。等旁瓣智能天线系统工作时, 首先需要通过测向算法测定信号的到达方位 (DOA), 然后通过选取合适的加权, 将方向图的主瓣指向用户到达方向。这类智能天线对于处于非主瓣区域的干扰, 是通过低的等旁瓣电平来确保抑制的。对于处于主瓣区域内的干扰, 采用等旁瓣针状智能天线系统将无法抑制。由于系统方向图主瓣宽度是由天线阵列口径决定的, 所以自适应智能天线对于主瓣内的干扰信号抑制能力也是有限的。与自适应智能天线相比, 等旁瓣智能天线无需迭代, 响应速度快, 而且这种方案的鲁棒性更好。



波束方向图、-15dB 等旁瓣针状波束方向图、-20dB 等旁瓣针状波束方向图的四种智能天线系统, 分别比采用全向天线的系统提高 5.25dB、4.75dB、5.05dB、4.45dB。

图 6 分别给出了利用四种智能天线扩容的系统, 在不同用户数时系统  $E_b/N_0$  低于门限值 (6dB) 的出界概率分布。图 6 曲线中每一个点都是 10000 次随机用户分布的统计结果。在 0.01 的出界概率下, 采用自适应方向图、-10dB 等旁瓣针状波束方向图、-15dB 等旁瓣针状波束方向图、-20dB 等旁瓣针状波束方向图的四种智能天线系统的扩容能力分别为采用全向天线的系统的 6.81、4.81、6.62、5.66 倍。

图 7 给出了一个 8 单元等旁瓣针状波束方向图智能天线, 当  $E_b/N_0 < 6$  的出界概率取 0.01 时, 采用不同旁瓣电平方向图的智能天线系统所能支持的用户数曲线。图中虚线为自适应智能天线所能支持的用户数; 218。由图 7 可见, 当旁瓣电平为 -20dB 时, 系统可以支持的用户数为 181。随着针状波束方向图旁瓣电平的升高, 系统容量增加, 当旁瓣电平为 -15dB 时, 系统可以支持的用户数达到最大值; 213。仅比采用自适应智能天线的系统少 5 个。当旁瓣电平超过 -15dB 以后, 系统容量将随着针状波束方向图旁瓣电平的升高而减小。当旁瓣电平为 -10dB 时, 系统可以支持的用户数为 153。

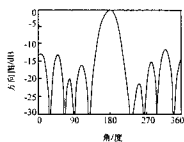
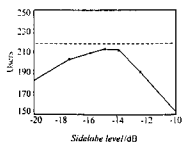
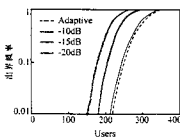


图 6 四种智能天线扩容时的边界概率

图 7 智能天线扩容用户数比方向图旁瓣电平

图 8 用户数为 200 的自适应方向图

从图 6、图 7 还可以发现,采用  $-15\text{dB}$  等旁瓣方向图智能天线系统和采用自适应智能天线有着近似的扩容能力。为了解释这一现象,在图 8 中给出了当所需信号来向为  $180^\circ$  度,其它 200 个干扰用户随机分布时,自适应算法得出的方向图。由图 8 可知,在干扰数目远大于阵列单元数时,自适应算法得到的方向图(图 8)和  $-15^\circ$  等旁瓣方向图(图 3)具有相似的主瓣宽度及旁瓣电平。这一现象可以用自适应算法的原理来解释。当干扰数目少于阵列单元数时,自适应算法可以产生凹点将干扰完全抑制掉。当干扰数目远大于阵列单元数时,因为干扰已遍布于圆周各方向,此时自适应算法已无法通过形成凹点来进行干扰抑制,它只能通过形成较低的旁瓣电平来抑制干扰。这一结论很重要,这表明在利用智能天线扩容时,可能无需采用自适应算法,只需要选取合适的等旁瓣方向图就可以达到与自适应算法近似的扩容能力。

图 6、图 7 中还可以看到,采用  $-15\text{dB}$  方向图和  $-10\text{dB}$ 、 $-20\text{dB}$  方向图智能天线系统性能相差很多,这表明选取不同的等旁瓣方向图,会显著影响智能天线的扩容能力。比较图 3、图 4 中的三种等旁瓣方向图,可以看到当阵列结构一定时,旁瓣电平与主瓣宽度成反比。 $-10\text{dB}$  方向图虽然具有较窄的主瓣,但是它的主瓣较宽,系统性能下降; $-20\text{dB}$  方向图虽然具有较低的主瓣,但由于它的主瓣宽度较宽,系统性能也同样下降。所以在实际应用中无需追求过窄的主瓣或过低的主瓣,应选取与自适应算法所得方向图具有相似主瓣宽度、旁瓣电平的等旁瓣方向图,此时自适应智能天线的性能接近最佳。

#### 四、结 论

本文研究了采用自适应方向图、等旁瓣钟状波束方向图两种不同智能天线系统,给出了这两类智能天线对现有 CDMA 系统的扩容能力的模拟结果。模拟结果表明,在利用智能天线扩容时,可能无需采用自适应算法,只需要选取合适的等旁瓣方向图就可以达到与自适应算法近似的扩容能力。模拟结果还表明选取不同的等旁瓣方向图,会显著影响智能天线的扩容能力。所以在实际应用中应选取与自适应算法所得方向图具有相似主瓣宽度、旁瓣电平的等旁瓣方向图,使智能天线的性能接近最佳。

#### 参 考 文 献

[1] George V. T., Mark A. B., Performance Enhancement of DS-CDMA PCS Cellular Networks with Smart Antennas. IEEE Vehicular Technology Conference 1995, Piscataway, NJ, USA, 40-44

- [2] Y. Wang, J. R. Cruz, Adaptive Arrays for the reverse link of CDMA cellular communication systems. Electronics Letters, 1994, 30 (13):1017-1018
- [3] Takeo Ohgane, Spectral Efficiency Improvement by Base Station Antenna Pattern Control for Land Mobile Cellular Systems. IEICE trans. Comm., 1994, E77-B(5):589-605
- [4] Zhenghe Feng, Zhijun Zhang, Dynamic Spatial Channel Assignment for Smart Antenna, to be published Wireless Personal Communication, 1998
- [5] A. J. Veen, A Constant Modulus Factorization Technique for Smart Antenna Applications in Mobile Communications. SPIE 2296, 230-241
- [6] Hui Liu, G. H. Xiu, Smart Antennas in Wireless System: Uplink Multiuser Blind Channel and Sequence Detection. IEEE trans. on communications, 1997, 45(2):187-199
- [7] R. O. Schmidt, Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation. IEEE trans. on AP, 1986, 34(3):276-280
- [8] Richard Roy, Thomas Kailath, ESPRIT-Estimation of Signal Parameters Via Rotational Invariance Techniques. IEEE trans. on ASSP, 1989, 37(7):984-995
- [9] L. Biglieri, H. P. Lin, Experimental Direction of Arrival and Spatial Signature Measurements at 900 MHz for Smart Antenna Systems. IEEE Vehicular Technology Conference 1995, Piscataway, NJ, USA, 55-58
- [10] S. P. Applebaum, Adaptive Arrays. IEEE trans. on AP, 1976, 24 (5):585



冯正和 1945 年生,清华大学电子工程系教授,博士生导师。1970 年毕业于清华大学,一直在该校任教,主要从事电磁场数值方法、微波毫米波技术 & 无线通信、阵列天线及智能天线的教学和科学研究工作。



张忠源 1971 年生,1992 年、1995 年分别获电子科技大学学士、硕士学位,1999 年获清华大学博士学位。