

一种用于 CDMA 系统的新型智能天线¹

张志军 冯正和

(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 本文提出了一种用于 CDMA 系统的新型智能天线。这种智能天线采用近似等旁瓣方向图, 加权矢量无需预先测量、校正, 可由累加、平均算法获得, 具有良好的工程实现性。本文提出的智能天线与自适应智能天线具有相似的扩容能力, 但它无需迭代、响应速度快、鲁棒性也更好。

关键词 智能天线, 圆形阵列, CDMA 系统

中图分类号 TN914.5, TN827

1 引言

智能天线^[1-6]从信号的空间角度分集进行通信扩容。它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, 并有效地解决干扰、扩大基站覆盖区域、减少辐射功率。

智能天线以扩容原理分类, 可分为两类: (1) 软容量的扩容^[1-3], 如 CDMA 系统中采用的智能天线, 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, 容纳更多的用户, 达到扩容的目的。(2) 硬容量的扩容^[4-6], 如 FDMA, TDMA 等系统中采用的智能天线, 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)。它实际是将一个传统信道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。以输出信噪比最大作为目标, 通过迭代算法。(2) 固定形状方向图。预先利用方向图合成算法综合出阵元加权, 并将这些阵元加权按顺序存储。在系统工作时, 通过测向确定用户信号的到达方向(DOA), 然后查表选取合适的阵元加权, 将主瓣指向用户方向。DOA 检测是一个比较成熟的技术, 已有 MUSIC^[7], ESPRIT^[8] 等多种算法, 900MHz 移动通信频段 DOA 的实验结果也有报道^[9]。

智能天线的分类见表 1。本文提出的是基于固定形状方向图的软扩容方案。

表 1 智能天线的分类

	自适应方向图	固定形状方向图
软容量扩容	文献 [1-3]	本文
硬容量扩容	文献 [6]	文献 [4,5]

2 智能天线

图 1 是智能天线波束控制系统的原理图。当各阵元加权已知时, 方向图 $g(\theta)$ 可由 (1) 式:

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

¹ 1998-07-09 收到, 1999-05-14 定稿
国家自然科学基金资助课题(批准号: 69871014)

算出, 其中 w_m 为第 m 路信号的加权值; $f_m(\theta)$ 是信号从空间角度 θ 到达阵列单元 m 时的相位。

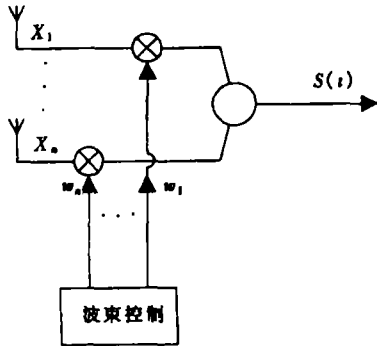


图1 智能天线波束控制原理框图

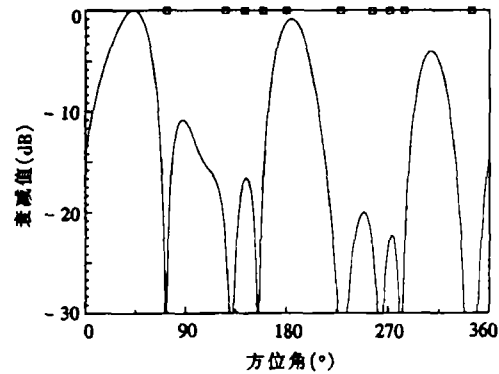


图2 自适应方向图

自适应智能天线, 通过迭代获得加权矢量, 从而使信干比最大。但是由于采用迭代, 使速度受到限制。对于高速运动的用户, 系统的性能也会受到影响。

图2是一个8元圆形自适应阵列在1个用户(实心方点)、10个干扰用户(空心方点)的某种通信环境下的方向图。由图可见, 它在干扰方向形成凹点, 并在所需方向形成峰值。但自适应算法在无干扰信号的其它角度上也可能出现峰值。

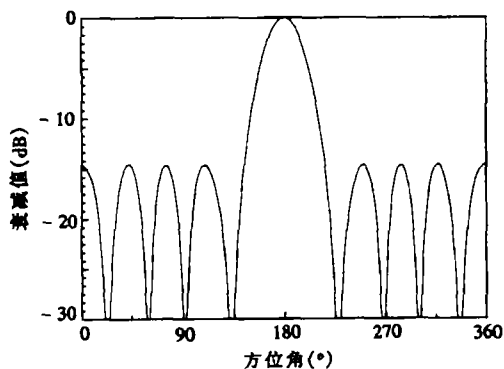


图3 等旁瓣针状波束方向图

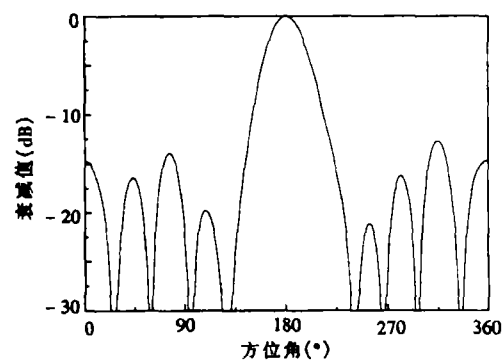


图4 用户数为50的自适应方向图

图3是等旁瓣针状波束方向图, 它的加权值是用方向图综合算法预先计算好的。对于非主瓣区域的干扰, 它通过低的等旁瓣电平来抑制。对于主瓣区域内的干扰, 智能天线将无法抑制。由于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抑制能力是有限的。

图4是8元圆形自适应阵列在1个用户、50个干扰用户的一种随机分布通信环境下对应的等效方向图, 由图可见, 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, 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完成干扰抑制。此时, 自适应算法得到的等效方向图(图4)和-15dB等旁瓣方向图(图3)具有相似的主瓣宽度、副瓣电平, 因此它们也就具有相似的扩容能力。这一结论很重要, 这表

明在利用智能天线扩容时，可以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得到近似的扩容能力。

本文提出通过对自适应算法得到的加权矢量进行累加、平均的方法，如 (2) 式所示，可以得到所需加权矢量，并且也便于工程实现。

$$\bar{w}_n(\theta) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L w_n^l(\theta), \quad (n = 1, \dots, N), \quad (2)$$

式中 $\bar{w}_n(\theta)$ 是主瓣指向角度 θ 时，第 n 个阵元的加权矢量。 $w_n^1(\theta), w_n^2(\theta), \dots, w_n^L(\theta)$ 分别是用户来向为角度 θ 、干扰为 L 时，自适应算法得出的阵元 n 的加权矢量。

在实际应用中，这种智能天线分为初始学习期和稳定工作期两个阶段。在初始学习阶段，系统采用自适应算法计算阵列加权，此时响应速度较慢，也无法跟踪高速运动的用户。当系统工作一定时间以后，对于每个空间到达角度都累积了相当数目后，通过 (2) 式可以得到近似等旁瓣方向图的加权矢量。此时系统将不再采用自适应算法，而采用等旁瓣方向图进行用户跟踪，此时为系统的稳定工作期。

3 仿真结果

为了验证，本节仿真实际通信环境下 8 元圆形阵列智能天线的性能。本文假设 CDMA 系统具有理想的功率控制，扩频系数为 128，无语音激励。系统的门限值 $E_b/N=6\text{dB}$ 。根据上述假设一个全向天线基站的最大用户数为 32。

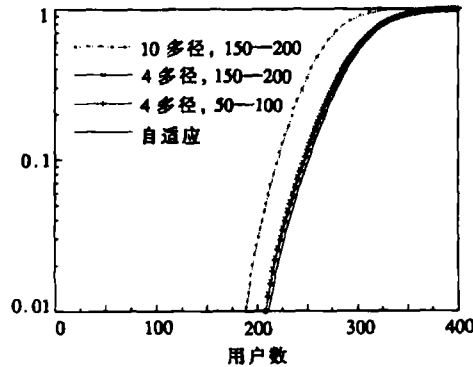


图 5 不同多径环境下所得加权矢量的扩容性能

本文在智能天线的扩容分析中考虑了多径影响。图 5 给出用多径环境下得到的近似等旁瓣方向图作为智能天线工作方向图，在用户数不同的非多径环境中 E_b/N 低于门限值 (6dB) 的出界概率分布。图 5 中每一点都是 500 次的统计结果。图中同时给出非多径环境中，采用自适应算法的出界概率分布 (实线)。采用的多径环境为 (设在圆周方向上均匀分布)：

严重多径 (虚线)：多径数 [0, 10]，其归一化强度 [0, 0.5]，干扰数 [150, 200] 均为均匀分布。

普通多径 (“×”)：多径数 [0, 4]，其归一化强度 [0, 0.2]，干扰数 [150, 200] 均为均匀分布。

普通多径 (“+”)：多径数 [0, 4]，其归一化强度 [0, 0.2]，干扰数 [50, 100] 均为均匀分布。

图 5 中“+”线和“×”线表明,普通多径环境中由本文方案得到的近似等旁瓣方向图,在非多径环境中,与自适应算法具有相似的扩容能力。图 5 中虚线表明,即使在严重多径环境中得到的近似等旁瓣方向图,在非多径环境中,扩容能力也只是略为下降。

图 5 中“+”线和“×”线是在两种不同的用户密度通信环境下所得的结果,它们具有几乎相同的扩容能力,这表明在多径环境统计特性确定的情况下,本文算法对于用户密度是不敏感的,这就确保了该方法的工程可实现性。

图 6 给出的是不同多径环境下利用累加、平均方法得到的近似等旁瓣方向图。其中,实线对应于普通多径,虚线对应于严重多径情况。由图 6 可知,在严重多径情况下,得到的近似等旁瓣方向图的主瓣宽度变宽、旁瓣电平升高。这正是其扩容能力略为下降的原因。

图 7 中给出了在多径环境下,近似等旁瓣方向图(实线)和自适应算法的智能天线(虚线)的扩容性能。多径环境为:多径信号数目 $[0, 4]$ 均匀分布,其归一化强度 $[0, 0.2]$ 均匀分布,干扰用户 360 度等概率分布。由图可见,在多径环境下,采用近似等旁瓣方向图的智能天线与采用自适应算法有近似相同的扩容性能。

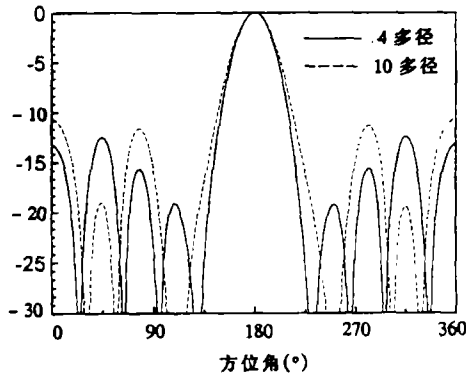


图 6 不同多径环境下所得近似等旁瓣方向图

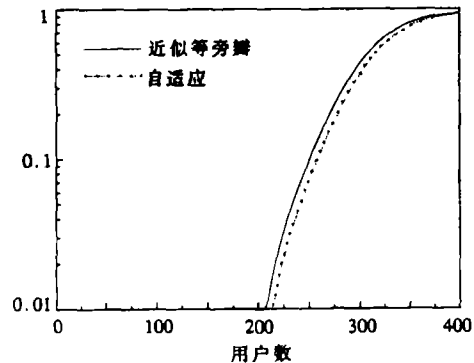


图 7 不同多径环境下的扩容性能

4 结 论

本文提出了一种用于 CDMA 系统的新型智能天线,它通过 DOA 测向,然后将主瓣指向用户方向,完成对用户的跟踪。它无需迭代、响应速度快、鲁棒性好。仿真表明,在非多径环境下,它与自适应智能天线具有相似的扩容能力。在多径环境下,它们也具有相似的扩容性能。本文智能天线所需加权矢量可以通过由自适应算法得到的加权矢量进行累加、平均得到,在多径环境统计特性确定的情况下,本文算法对于用户密度是不敏感的,具有良好的工程可实现性。

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 vol.1 Piscataway, NJ, USA: 1995, 40-44.
- [2] Wang Y, Cruz J R. Adaptive antenna arrays for the reverse link of CDMA cellular communication systems. Electron. Lett., 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): 598-605.
- [4] Zhenghe Feng, Zhijun Zhang. Dynamic spatial channel assignment for smart antenna. Wireless Personal Communication, 1999, 11(1): 79-87.

- [5] Tsoulos G V, Beach M A. Sensitivity analysis of capacity enhancement with adaptive multibeam antennas for DCS1800, *Electron. Letter*, 1996, 32(19): 1745-1747.
- [6] Liu Hui, Xu G H. Smart antennas in wireless system: uplink multiuser blind channel and sequence detection. *IEEE Trans. on Communications*, 1997, 45(2): 187-199.
- [7] Schmidt R O. Multiple emitter location and signal parameter estimation. *IEEE Trans. on AP*, 1986, AP-34(3): 276-280.
- [8] Roy R, Kailath T. SPRIT-Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques. *IEEE Trans. on ASSP*, 1989, ASSP37(7): 984-995.
- [9] Bigler L, Lin H P. Experimental direction of arrival and spatial signature measurements at 900 MHz for smart antenna systems. *IEEE Vehicular Technology Conference vol.1*, Piscataway, NJ, USA: 1995, 55-58.

A NEW SMART ANTENNA FOR CDMA SYSTEM

Zhang Zhijun Feng Zhenghe

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract A new smart antenna for CDMA system was proposed in the paper. The beam pattern with approximately equal side lobe is adopted. The weighting vectors are got not by measuring or rectifying in advance, they can be got by average method, and can be realized easily in engineering. The enhanced capability of this antenna is approximately equal to adaptive antenna, but need not iterative procedure, has fast response and good robustness.

Key words Smart antenna, Circular array, CDMA system

张志军: 男, 1971 年生, 博士生.

冯正和: 男, 1945 年生, 教授, 博士生导师. 主要从事电磁场数值方法, 微波毫米波技术及无线通信技术, 阵列和智能天线的教学和科研工作.