

等距离圆线阵的波束形成

林华芳¹, 徐明远², 徐晟³

(1. 昆明理工大学理学院, 云南昆明 650093; 2. 昆明理工大学信息工程与自动化学院, 云南昆明 650051;
3. 北京市167信箱, 北京 100036)

摘要: 简述了单个信号和多个信号进入等距圆(天)线阵列时波束形成的方法: 分别用来自不同方向的4个信号和5个信号进入八个阵元的阵列进行试验, 得出了仿真结果。

关键词: 等距圆(天)线阵; 波束形成; 仿真

中图分类号: TN919.27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)02-0154-03

Beamforming of Uniform Circular Array

LIN Hua-Fang¹, XU Ming-Yuan², XU-Sheng³

(1. Faculty of science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Kunming 650093, China;
2. Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093,
Kunming 650051, China; 3. Beijing 167 mail box. Beijing 100036, China)

Abstract: The Beamform of UCA is briefly discussed. The simulation tests are performed with four or five signals on respective direction into the antenna array of eight elements. Finally, some results can be got.

Key words: UCA(uniform circular array); beamforming; simulation

0 引言

智能天线可以按通信的需要, 在需要通信的方向提高增益, 在干扰源的方向降低增益. 因此, 智能天线系统的应用可以带来如下好处:

- 1) 在基站, 手机发射功率和接收灵敏度不变的情况下, 通过提高基站天线的增益, 可以增加覆盖距离.
- 2) 在建网初期, 小区内用户不多, 使用智能天线能扩展通信距离, 可以减少基站的数目, 这就减少了无线系统安装初期的建设费用. 随着用户的增加, 进行小区分裂减少基站的覆盖范围后, 因为智能天线的应用可以提高载干比, 降低用户的发射功率, 降低了系统的干扰. 另一方面, 由于更加频繁的重复使用频率, 又可以提高系统的容量.
- 3) 无线信道中的多径, 能导致衰落和时间扩散, 智能天线有助于缓和多径的冲击, 甚至可以利用多径所固有的分集效应, 进而改善了链路的质量.
- 4) CDMA 系统有严格的功率控制要求, 对用户的地面分布特别敏感. 智能天线能够分离不同的上行信号, 以降低对功率控制的要求, 并且能够实时调整方向, 从而调整对地面用户的覆盖以缓解用户地理分布不均的矛盾.

2 原理

为使天线的波束指向可控, 甚至形状可控, 采用阵列天线是合适的. 波达方向 DOA (Direction Of Arrival) 的估计是智能天线工作的基础. 获得波达方向的估计以后波束形成是智能天线工作的重要内容.

在距离通信源足够远的空间里, 可以将到达的电磁波视为平面波. 对于等距离圆线阵天线(我们仅考虑二维的问题), 由于调制在载波上的基带信号码元宽度与波速的乘积远大于天线阵列的尺寸, 因此多个天线

收稿日期: 2002-12-03; 基金项目: 云南省自然科学基金(项目编号: No. F0040M).

第一作者简介: 林华芳(1944~), 女, 副教授; 主要研究方向: 物理学, 数字通信.

阵元上的信号的幅度可视为不变,而它们的载波的相位差则取决于它们相互位置、尺寸、波长和到达方向。

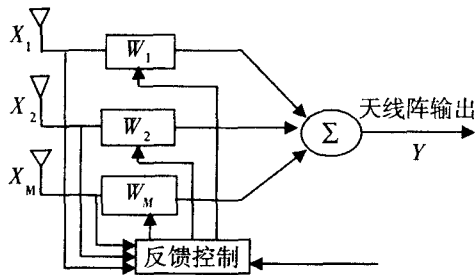


图 1 智能天线的原理图

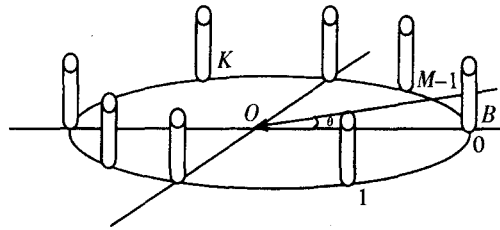


图 2 等距离圆线阵三维图

图 1 是智能天线的原理框图,图 2 是等距离圆线阵的三维图。我们把天线阵元顺序定为从 OB 起顺时针排列为 0 到 M - 1。若有一平面波以 θ 角入射到阵列上,第 K 号阵元上产生的信号为 x_K ,它与到达阵元中心的波前的相位差是 $A_K(\theta) = \exp(-i2\pi \frac{r}{\lambda} \cos(\phi_k + \theta))$; λ 与 r 分别是入射波的波长和阵列圆的半径, ϕ_k 是第 K 号阵元的方位角,即 $\angle BOK$ 。 A_K 亦称阵因子。为了使天线阵的输出满足需要,在每个阵元上,用加权因子 w_K 进行控制。这样第 K 号阵元上输出的信号为 $w_K A_K x_K$,即 $w_K u_K$;若到达天线阵的信号是 N 个,天线阵的输出是 N 个信号在 M 个阵元上的输出的迭加。用解析式表达如下:

$$X(n) = [x_0(n), x_1(n), \dots, x_{M-1}(n)]^H \tag{1}$$

$$A_{Kj}(\theta_j) = \exp(-i2\pi \frac{r}{\lambda} \cos(\phi_k + \theta_j))$$

$$A_j = [A_{0j}, A_{1j}, \dots, A_{(M-1)j}]^H \tag{2}$$

(θ_j 是第 j 个信号的入射角)

$$A = [A_1, A_2, \dots, A_N] \tag{3}$$

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_{M-1}]^H \tag{4}$$

$$y(t) = W^H A X = W^H U \tag{5}$$

波束形成的任务是在希望接收信号到来的方向形成尽量高的增益;最大限度的抑制干扰信号。下面分别讨论单个信号及多个信号同时到达的情况。

2.1 单信号情况

一个以 ϕ_0 角入射的信号: $A = [A_1]$; $X(n) = [x_0(n)]$

当 $W = A(\phi_0)$ 时,输出功率最大^[1]。

$$\text{令 } W_K(\phi_0) = \exp(-i2\pi \frac{r}{\lambda} \cos(\phi_k + \phi_0))$$

$$y_0(t) = W^H(\phi_0) A X = W^H(\phi_0) U \tag{6}$$

改变 ϕ_0 即改变 W 可以改变阵列输出的方向特性。

2.2 多信号情况

当有多(N)个信号输入时,其中有 1 个信号是我们关心的, $N - 1$ 个信号是需要抑制的。方程组(7)描述了上述需求的约束条件(四个信号输入,第一个信号是我们关心的,其余的信号是需要抑制的)。

$$W^H U = [1, 0, 0, 0]^T \tag{7}$$

我们根据信号波达方向的估计 U 及约束条件可以求解方程组(7)得到

$$W = [w_0, w_0, \dots, w_{M-1}]$$

代入(5)式可以得到阵列输出的方向特性 $y(t)$ 。

3 仿真试验

1) 在八个阵元的等距离圆线阵上进行单信号波束形成试验。

2) 在八个阵元的等距离圆线阵上进行5个信号(分别从 $30^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 240^\circ$ 及 270° 方向来的信号)及4个信号(分别从 $60^\circ, 120^\circ, 174^\circ, 270^\circ$ 方向来的信号)的波束形成的仿真试验. 其中5个信号时, 有一或二个方向是我们关心的; 4个信号时, 有一个方向是我们关心的, 其余方向的信号是要被抑制的.

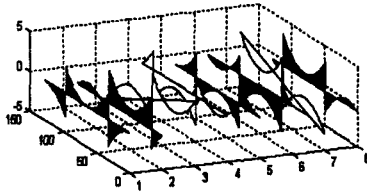


图3 单信号输入相角变化

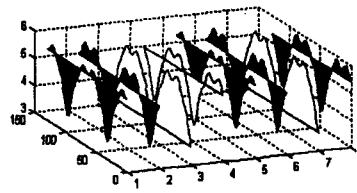


图4 单信号输入幅值变化

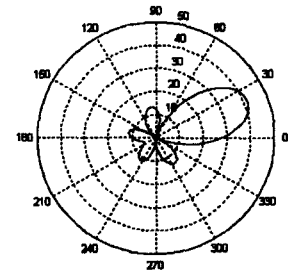


图5 单信号输入的阵输出方向图

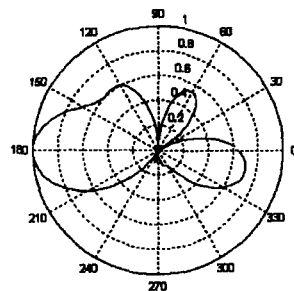


图6 5个信号输入的阵输出方向图

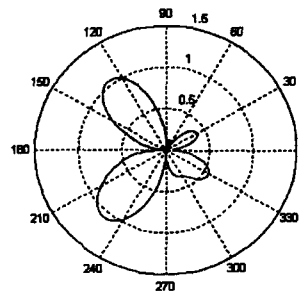


图7 4个信号输入的阵输出方向图

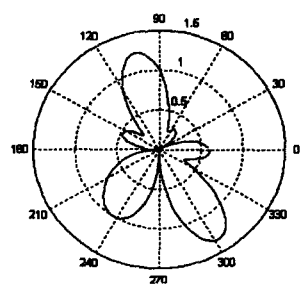


图8 5个信号输入的阵输出方向图

图3、图4分别是单信号输入当从 0° 到 360° 变化时 W 的相角及幅值变化. 这时阵输出方向图上最大波瓣的峰值也从 0° 到 360° 变化. 即实现天线波束扫描.

图5是单信号输入当 $\varphi_0 = 22.5^\circ$ 时的阵输出方向图.

图6、图8分别是5个信号输入(分别以 $30^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 270^\circ$ 输入)时的情况.

图6是接收来自 180° 方向的信号抑制其余方向信号的仿真结果. 即接收到的 180° 方向的信号增益为1, 其余四个方向的信号增益为0.

图8是接收来自 90° 及 240° 两个方向的信号, 抑制其余方向信号的仿真结果. 即接收到的 90° 和 240° 方向的信号增益为1, 其余三个方向的信号增益为0.

图7是4个信号输入(分别为: $60^\circ, 120^\circ, 174^\circ, 270^\circ$ 输入)接收来自 120° 方向的信号抑制其余方向信号的仿真结果. 即接收到的 120° 度方向的信号增益为1, 其余三个方向的信号增益为0.

3) 仿真结果讨论. ①应用本文的方法, 在获得输入信号波达方向的估计后, 能够实现波束形成. 在希望抑制信号的到达方向能形成尖锐的零陷. 在接收信号方向的天线增益满足要求.

②并不是任何时候都能够将波瓣的峰点对准接收信号. 在其他方向有波瓣, 有的还比较大. 本文的方法未引入噪声. 要解决这些问题还需应用更复杂的算法. ③试验表明, 阵元多能够分辨更多的信号, 能形成更复杂的波束形状.

参考文献:

- [1] Joseph C. Liberti, Theodore S. Rappaport. Smart Antennas for Wireless Communications[J]. IS - 95 and Third Generation CD-MA Applications. Prentice Hall, 1999.
- [2] 张贤达, 保铮. 通信信号处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000. 320.
- [3] 查光明, 熊贤祚. 扩频通信[M]. 西安: 西安电子科大出版社, 1999. 158.