

# 用遗传算法综合波束赋形基站天线

卜安涛<sup>1</sup>, 史小卫<sup>1</sup>, 刘 英<sup>2</sup>, 沈宗珍<sup>3</sup>, 肖良勇<sup>3</sup>

(1. 西安电子科技大学 601 实验室, 陕西西安 710071; 2. 西安电子科技大学天线所, 陕西西安 710071);  
3. 陕西西安海天天线科技股份有限公司研究院, 陕西西安 710075)

**摘 要:** 本文利用遗传算法对不等间距阵列天线进行优化, 实现了一种赋形波束基站天线。天线模型用矩量法分析, 并采用遗传算法综合天线方向图。在优化过程中通过合适的目标函数, 保证了天线较好的频段特性, 并压制干扰区副瓣、填充服务区零值、控制后瓣。优化后天线在整个工作频段上实际性能为: 上副瓣小于 -18.32dB, 填充零点大于 -14.71dB, 前后比小于 -26dB。与以前的方法相比, 本文的结果更接近实际情况, 并且该方法可应用于较复杂的天线。本文中的结果对工程和理论研究都有重要意义。

**关键词:** 遗传算法; 赋形波束; 基站天线; 矩量法; 副瓣抑制; 零值填充

**中图分类号:** TN 0451 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 09-1310-03

## Synthesis of Shaped Beam Base Station Antenna Using Genetic Algorithm

BU An-tao<sup>1</sup>, SHI Xiao-wei<sup>1</sup>, LIU Ying<sup>2</sup>, SHEN Zong-zhen<sup>3</sup>, XIAO Liang-yong<sup>3</sup>

(1. No. 601 Lab of Xidian University, Xi 'an, Shaanxi 710071, China;

2. Institute of Antenna and EM Scattering of Xidian University, Xi 'an, Shaanxi 710071, China;

3. Xi 'an Haitian Antenna Technologies Co., Ltd., Xi 'an, Shaanxi 710075, China)

**Abstract:** A shaped beam base station antenna is realized with the unequal spacing array using an optimization technique based on genetic algorithms. Antenna model have been evaluated by using the Method of Moment (MoM). During the antenna optimization process, an appropriate fitness function is used to suppress the sidelobe in interference zone, fill the null points in service zone and control the back lobe, to get satisfactory pattern shape in the whole frequency band. As a result of this optimization, a practical shaped beam antenna with suppressed sidelobe smaller than -18.32dB and backlobe -26dB, filled null point larger than -14.71dB was achieved. The proposed method is closer to reality compared with previous methods and can be used to optimize complicated antennas. The result is very useful for engineering and theoretic analysis.

**Key words:** genetic algorithm; shaped beam; base station; method of moment; sidelobe suppression; null filling

### 1 引言

在移动通信系统中, 由于用户量的迅速增长, 通信信道的不足已经成为人口密集地区的严重问题, 因此强烈地要求使用有效的频率复用技术。蜂窝系统有利于频率复用技术, 但是为了有效地进行频率复用, 必须对蜂窝区进行再分割。此时, 蜂窝系统的效能显著地依赖于基站天线的辐射方向图形状。基站天线具有较大的有用信号对无用信号比(D/U)要比有较高的天线增益更重要。即要求基站天线对使用相同频率的另一蜂窝辐射尽可能低的电平, 同时要求基站天线对其业务区辐射尽可能高的电平。已经研究通过改变天线辐射方向图来实现频率复用目的的方法是主波束倾斜和波束赋形技术。

本文中, 对于基站天线而言, 为了保证服务区内的信号增益, 采用带有反射板的垂直线阵天线。通过综合出合适的天线方向图实现对主波束附近一侧旁瓣压缩, 同时对另一侧方向

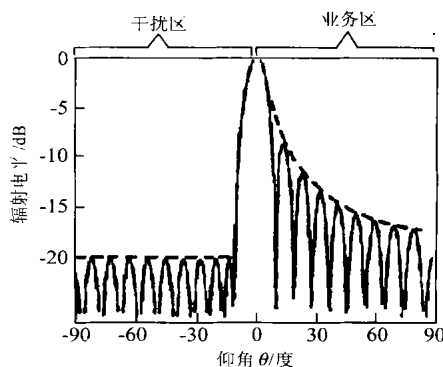


图1 基站天线理想辐射方向图

图零点填充。这样可以有效的降低对邻近小区的干扰, 减小频率复用距离; 并提高基站天线覆盖区内电平, 提高 D/U。关于

收稿日期: 2002-06-04; 修回日期: 2003-02-09

基金项目: 国家自然科学基金(No. 69971017); 西安海天天线股份有限公司资助

阵列天线方向图综合和优化的方法、文献很多<sup>[1]</sup>。但是通常这些方法都是针对理想的阵列进行方向图综合。很大一部分都是将辐射单元方向图假设为全向的,阵列方向图符合方向图乘积定理,所以阵列方向图仅仅决定于阵因子。这些方法依据阵因子解析表达式,来确定阵列单元的激励系数。本文考虑的天线由于结构较为复杂而不能直接写出方向图的解析表达式,必须用解析方法分析整个天线结构,数值求解天线方向图与天线结构参数之间的关系,并利用遗传算法来确定激励系数和单元间距的最佳集合,以实现目标方向图形状。

## 2 分析方法

本文研究的是带有金属反射底板的线阵天线。对于这种线(直径为 )、面混和结构,考虑到线面结构计算复杂性以及工程精度,采用线栅模型<sup>[2]</sup>即矩形网格来模拟面结构。将所有结构简化为线性结构。

矩形网格尺寸的大小直接影响着计算速度和结果的准确性。网格越小,越接近真实情况,但是带来的问题是存储容量和计算时间的开销。反之网格越大,虽然计算速度快,但是结果却不精确。本文采取的网格尺寸是:用来模拟网格的细线周长等于两个相邻网格中心距离。采用矩量法分析线结构的理论已经非常成熟<sup>[3]</sup>,本文不再赘述。

本文优化过程采用遗传算法。遗传算法是 Holland 教授在 70 年代创立的一项优化搜索技术,将生物原理应用于优化、搜索技术的过程。该方法的原理以及在电磁场问题中的应用已经有较为详尽的论述<sup>[4,5]</sup>,这里仅仅简单叙述其主要过程:

(1) 编码表示。即将问题中一定范围内实数类型的自变量进行离散抽样量化。(2) 初始化。确定群体规模等参数。考虑到计算时间因素,本文群体规模选为 30。(3) 遗传操作。该算法固有的操作过程包括复制、交叉、变异等过程。(4) 算法停止。在满足算法停止准则或已经进行了预定代数的繁殖之后,算法停止。

作为该方法的应用,主要的问题在于给定变量组合的适应函数(由指定约束条件综合构成一个目标函数)是如何确定的。这一点对于能否得到预期的结果起着决定性的作用。

## 3 优化过程

本文考虑的波束赋形与许多文献中提到的智能天线系统<sup>[6]</sup>中的波束形成不尽相同。在智能天线系统中,很多波束形成算法考虑的对象是理想天线阵列,即假设阵列单元方向图为全向。其基本原理是:根据期望用户和干扰用户的来波方向,利用各种算法对解析表达的阵因子进行综合,得到一组权值(阵列单元的激励幅度、相位),使得合成阵列方向图主波束对准期望用户方向同时在干扰用户方向生成零陷。最终得到的结果虽然非常理想,但是这些结果实现代价相对比较昂贵,并且处理过程针对理想情况,距工程实现还有一定距离。

本文计算天线结构如图 2 所示。在优化过程中,把天线的反射地板结构采用线栅模型<sup>[2]</sup>近似。而且矩量法分析过程中考虑了反射地板同辐射单元之间的互耦作用,也就是说本文真实地考虑天线的整个结构对于方向图的贡献。

大多数天线方向图综合方法是把阵列单元的激励幅度与相位作为一组调整变量,求得一组值以形成要求的方向图。但是对于工程而言,这种方法优化得到的结果不容易实现而且不经济,因为阵列单元的不等幅度激励要通过功率分配器来实现,实现成本相对较高。而本文提出仅利用阵列单元的激励相位和阵列单元的间距来实现目标。不同激励相位可以通过不等长度传输线来实现,而阵列单元之间不等间距实现则仅仅是安装辐射单元时候打孔位置的不同。所以整个方案既经济又简单。

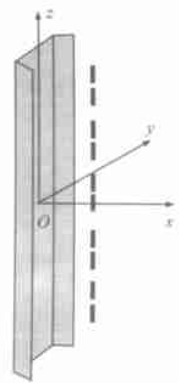


图 2 天线结构

此外考虑到实现方便和天线的频带特性,本文提出更为经济的方法是把阵列单元每 M 个分为一组,在一个组内所有单元激励幅度、相位相同。其好处是:减少了需要调整的激励相位数目,容易实现;使得合成的方向图对于相位依赖性减弱,从而可以获得宽频带特性。实际操作中关于相位的设置方法是,选取其中一组为参考零相位,其余组相对于这组相位差设置为自由变量。

为使天线在工作频段的高、低端点频率上方向图赋形效果与设计频率点相比不至于出现很大差别,即发生所谓的方向图退化,本文例子中设计频率点没有选择在天线工作频段的中心频率点,而是靠近中心频率点且偏向低频端的频率点。这种选取原则可以更科学的权衡天线性能在整个设计频段的性能,可以尽量保证天线具有较好的频段性能<sup>[7]</sup>。

遗传算法关键点就是目标函数如何选取。尤其对于天线方向图综合这样的多约束优化的问题,目标函数构造就显得非常重要。本文的算例中,需要考虑方向图的增益 G、上副瓣 SLL、下零值 NULL、前后比 FB 等多参数约束。其对应的约束条件分别为:

$$\begin{cases} G \geq G_0 \\ SLL \leq SLL_0 \\ NULL \geq NULL_0 \\ FB \leq FB_0 \end{cases} \quad (1)$$

上式中  $G_0$ 、 $SLL_0$ 、 $NULL_0$ 、 $FB_0$  分别为  $G$ 、 $SLL$ 、 $NULL$ 、 $FB$  的期望值。为了使这几个参数变化在目标函数中灵敏地反映出来,取每个参数与期望值之差的平方,然后分别构造式(2)~(4)三种表达式。

$$fit = - \max \{ a_1 (G - G_0)^2, a_2 (SLL - SLL_0)^2, a_3 (NULL - NULL_0)^2, a_4 (FB - FB_0)^2 \} \quad (2)$$

$$fit = - \sqrt{ [ (G - G_0)^2 + (SLL - SLL_0)^2 + (NULL - NULL_0)^2 + (FB - FB_0)^2 ] / 4 } \quad (3)$$

$$fit = - \{ a_1 (G - G_0)^2 + a_2 (SLL - SLL_0)^2 + a_3 (NULL - NULL_0)^2 + a_4 (FB - FB_0)^2 \} \quad (4)$$

其中  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$  为权值系数,作用是调整每个参数变化对于目标函数的贡献。其目的是为了避免某个参数变化范围过大而淹没其他参数对于目标函数的贡献。

式(2)、(3)、(4)给出的三种目标函数选取方式. 三种表达式前面的负号都是因为 GA 程序优化是求最大值. 通过试验可以知道, 如果权值系数选择不当, 几个参数变化范围相差很大, 式(3)、(4)可能不会权衡所有参数都能取得最优值, 即满足每个约束条件; 而式(2)则比较均衡地考虑了每个参数. 但是, 如果目标函数表达式中约束参数很多, 而且其中的一些参数不能事先知道其变化范围, 那么目标函数最好选择式(3)的形式, 即选取所有参数的均方差. 因为对很多目标参数优化, 可能不会出现每个参数都达到最优的情况, 而比较常见的是大部分参数都能获得很好的结果, 仅有某一两个参数结果不好. 本文结果选择了式(2), 因为它综合考虑了垂直面的增益、副瓣、零深、前后比等参数, 使其都接近了指标要求.

#### 4 应用实例

本文算例天线结构如图 2 所示 6 单元天线. 天线设计工作频段是 890 - 960MHz. 在这个例子中我们选取的设计频率点是 915MHz, 略低于中心频率点 925MHz. 对于这种类型的天线, 由于水平面扇区波束形状与垂直面余割波束赋形具有相

对的独立性. 因此对垂直面进行波束赋形设计中可不必考虑水平面波束形状.

表 1 实验结果参数

参数	频率 (MHz)		
	960	915	890
上副瓣 (dB)	- 18.38	- 18.74	- 18.32
下零深 (dB)	- 10.07	- 14.71	- 10.01
增益 (dB)	15.25	14.87	14.55

由于天线辐射单元等幅度激励, 因此所有馈电网络采用 50 同轴线一分二分支构成, 各个单元相位差别通过调整最末端一分二分支的同轴线的长短来实现. 表 1 给出了各频点上副瓣和下零深的具体实验数据. 图 3 给出了垂直面赋形波束的理论优化结果与试验结果的比较. 由图 3 可知, 不仅在设计频率点, 而且在工作频段的高、低两个边频点都可获得与设计频率点相似的结果. 总的来看, 在整个工作频段上优化结果上副瓣小于 - 18.32dB, 填充零点大于 - 14.71dB, 前后比小于 - 26dB. 这些结果远优于国外某些公司给出赋形天线结果, 所以该天线可实际应用于蜂窝移动系统, 以提高系统性能.

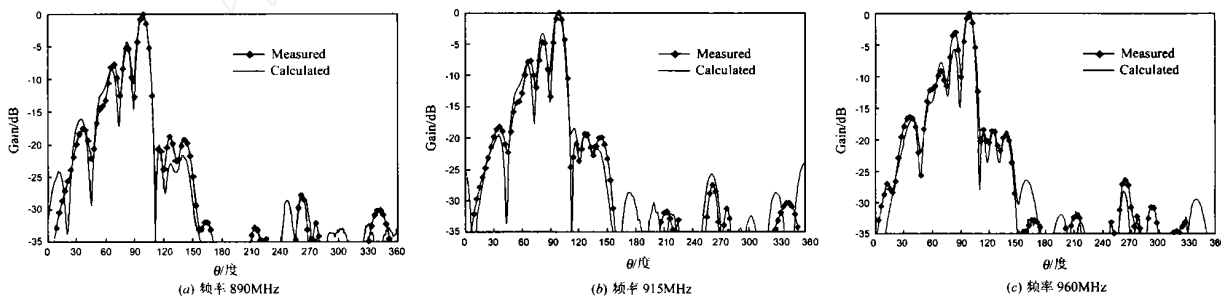


图 3 赋形波束天线垂直面方向图

#### 5 结论

本文介绍了一个用遗传算法优化设计赋形波束基站天线方法. 发现用遗传算法进行复杂阵列天线方向图综合, 具有算法结构简单、计算效率高, 收敛稳定等特点. 文中的方案经济且易于实现, 其理论结果与试验结果吻合很好. 具有很高的实际意义.

#### 参考文献:

- [1] 汪茂光等. 阵列天线分析与综合 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1989.
- [2] J H Richmond. Radiation and Scattering by Thin Wire Structures in the Complex Frequency Domain [R]. USA: NASA CR-2396, May 1974.
- [3] R F Harrington. Field Computation by Moment Methods [M]. 北京: 国防教育出版社, 1979.
- [4] Daniel S. and Eric Michielssen. Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics: A review [J]. IEEE Trans on AP, MARCH 1997, 45(3): 343 - 353.
- [5] Keen-keong, etc. Sidelobe Reduction in Array-Pattern Synthesis Using Genetic Algorithms [J]. IEEE Trans on AP, JULY 1997, 45(7): 1117 - 1122.
- [6] Joseph C Liberti, etc. Smart Antennas for Wireless Communications IS - 95 and Third Generation CDMA Applications [M]. New Jersey:

Prentice Hall PTR, 1999.

- [7] M Kijima etc. Determining excitation coefficients of dual-frequency shaped beam array antennas for mobile base station [A]. Proc IEEE APS [C]. UK: IEEE APS JUNE 1991. 932 - 935.

#### 作者简介:



卜安涛 男, 1976 年生于陕西省, 2001 年在西安电子科技大学电磁场与微波技术专业获得硕士学位, 目前为西安电子科技大学在读博士生, 主要研究方向是电磁场数值计算、电磁兼容以及阵列天线分析、综合.



史小卫 男, 1963 年生于广东省, 多年来从事电磁场与微波技术及无线电物理专业教学与科研工作, 现任西安电子科技大学教授、博士生导师, 目前研究方向有: 智能天线、射频识别、电磁兼容.