

# 用遗传算法优化八木天线

刘忠凯，薛正辉，任武，李伟明，高本庆

(北京理工大学信息科学技术学院电子工程系，北京，100081)

**摘要：**本文提出了一种通过对参量空间降维来实现对八木天线方向性优化的遗传算法，而且应用此方法对八木天线和平行多列八木天线阵进行了优化，并给出了具体的优化结果。结果表明，本文的方法可行，而且能够相对减少计算的复杂度，提高准确性。

**关键词：**八木天线，八木天线阵，遗传算法，优化

## 1. 引言

八木天线无论作为独立天线还是组成阵，以它结构简单、造价低廉、应用灵活在实践中获得了广泛的应用[1]。典型的八木天线由一个激励的有源振子和一排平行的无源振子组成。一般八木天线反射器只有一个，而引向器的数目可以很多。八木天线有较好的方向性，用它来测向，远距离通信效果比较好，因此广泛的应用于米波，分米波波段的通信、雷达、电视及其它无线电系统中。但是主要缺点是带宽较窄[2]。对八木天线的优化主要是对天线的几何参数的优化，即对振子(有源振子和无源振子)长度和振子间距的优化；对于平行八木天线阵来说，还应包括对单元列距和激励强度的优化。遗传算法(GA)作为一种新兴的优化算法，在工程领域应用广泛。但是这种方法从根本上是对参量的分布式搜索，对于低维参量空间的优化效果比较好，但是对于高维参量空间优化效果不如前者[3]。八木天线的优化是对高维参量的优化的问题，对于振子长度和振子间距不等的结构，参量空间可能达到几十维。为了实现较好的优化结果，本文提出对参量空间降维的方式来将高维问题转化为低维问题，优化的效率较高，效果较好。

## 2. 优化方法

八木天线的几何结构参量可以写成如下形式(本文为考虑对振子半径的优化)： $[l_r, l_{dr}, l_{dir}, p]$ 。其中 $[ ]$ 表示参量空间， $l_r, l_{dr}, l_{dir}, p$ 分别表示反射器长，有源振子长，引向器长，振子间距。对于一个由 $n$ 个引向器组成的八木天线来说，其参量空间可以表示成 $[l_r, l_{dr}, l_{dir1}, l_{dir2}, \dots, l_{dirn}, p_0, p_1, \dots, p_n]$ ，其维数为 $2n+3$ 。当 $n$ 较大时，参量空间维数相当大，需要大规模的低效率的计算程序来实现。为了提高效率，本文将上述参量空间降维，例如对2个引向器结构的4元八木天线，其优化方法如下：首先对反射器、有源振子及其间距进行优化，然后对第一引向器及其与有源振子的间距进行优化，接着再对第二引向器及其与第一引向器间距进行优化，这样实际优化的参量维数分别是3，2，2，参量总数7。对于 $n$ 个引向器的结构，其该参量空间为 $[l_r, l_{dr}, l_{dir1}, l_{dir2}, \dots, l_{dirn}, p_0, p_1, \dots, p_n]$ 。将其分解为 $[l_r, l_{dr}, p_0], [l_{dir1}, p_1], \dots, [l_{dirn}, p_n]$ 这样的低维子空间形式，然后分别对子空间进行优化，优化的结果作为原参量空间的优化结果。于是将 $2n+3$ 维的优化问题转变为3维和2维的问题，用普通的遗传算法对2维或3维问题的优化是能够得到比较满意的结果的。

上面的降维过程的原理可以通过图 1 来说明。图中标识参数依次为反射器，有源振子和引向器长，振子间距和半径不变。横坐标为加载的引向器长度。纵坐标为方向性系数。例如，“—”线表示 0.5 波长的反射器和 0.47 波长的有源振子沿辐射方向上加载一个引向器后，加载的引向器长与整个结构的方向性系数的关系曲线。

图 1 说明，八木天线的方向性系数对各级引向器有累积性，也就是说，在有较好方向性的  $n-1$  个引向器的天线上，沿辐射方向上加载长度、间距合适的引向器后，得到的  $n$  个引向器的天线的方向性也是较好的。

### 3. 算法流程

通过参量空间降维的方式来设计遗传算法程序，其程序流程如图 2 所示。首先优化  $[l_r, l_{dr}, p_0]$ ，将优化的结果储存到向量  $V$  中。向量  $V$  用于储存各级优化的结果。然后逐级优化  $[l_{dir}(n), p(n)]$ ， $n$  为级数，即引向器的个数。每一级的优化结束后，都将结果储存到  $V$  中，当优化程序结束后，可以从  $V$  中得到优化的最后结果。

### 4. 算例和比较

用本文的方法优化所得的结果与文献[6]的结果相比较，如表 1 所示。文献采用的是遗传算法，计算辐射特性采用 NEC 方法。本文计算天线的辐射特性采用的是解析的方法。从计算结果可以看出，文献与本文优化的方法结果相近。

在高维的情况下，对于 15 元的八木天线，文献[6]的优化结果与本文结果的比较如表 2 所示。对于 15 元的情况，文献说明：需要优化 29 个参量，染色体总长为 203，种群大小为 200，进化 50 代，利用 Dell XPS Pentium-120 的计算机计算 3 小时 20 分。而本文中的染色体总长最大值为 26，种群大小为 20，进化 20 代，执行遗传算法程序 13 次，利用 P4 2.2G 的 cpu 计算花费约为 30 分钟。

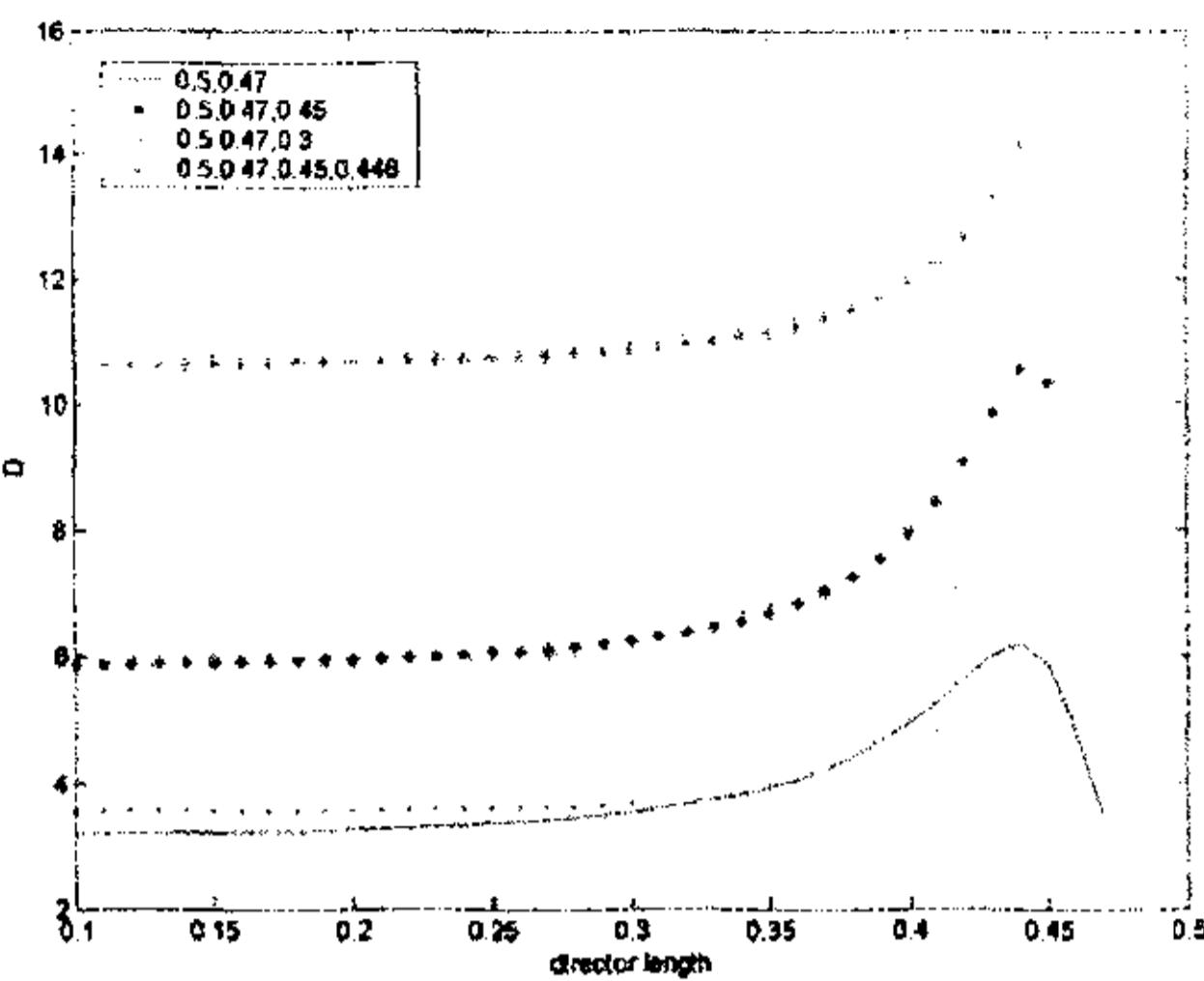


图 1，各级引向器长—方向性曲线

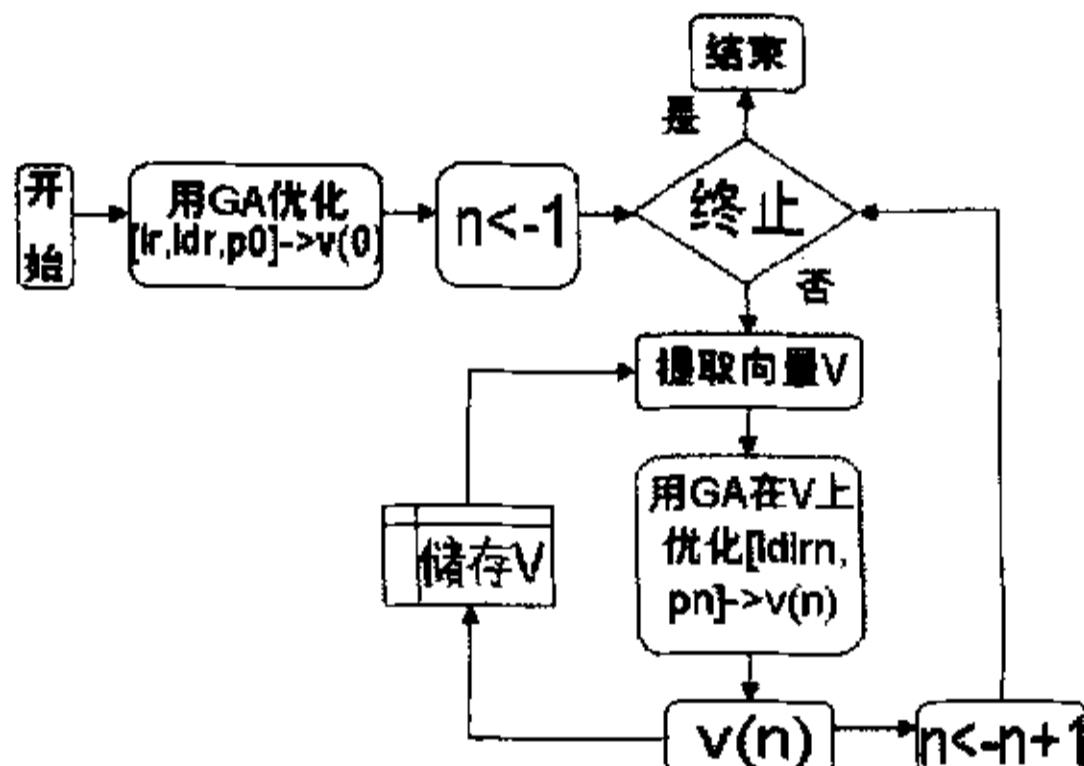


图 2，算法流程图

文献中总的计算量为  $200 \times 50 = 10\ 000$ , 而本文的总的计算量为  $20 \times 20 \times 13 = 5\ 200$ , 相当于文献的计算量的 52%。

	$l(\lambda)$	$p(\lambda)$	Gain(dBi)
文 献	0.5040, 0.6020, 0.4420, 0.4380, 0.4200, 0.4220	0.101, 0.321, 0.274, 0.428, 0.435	13.60
	0.4800, 0.4597, 0.4578, 0.4364, 0.4355, 0.4346	0.2700, 0.2000, 0.3967, 0.3989, 0.3965	
本 文	0.4800, 0.4597, 0.4578, 0.4364, 0.4355, 0.4346	0.2700, 0.2000, 0.3967, 0.3989, 0.3965	13.8731

表 1, 文献[6]与本文优化比较 ( $6$  元,  $r=0.003\lambda$ )

	$l(\lambda)$	$p(\lambda)$	Gain(dBi)
文 献	0.4740, 0.4860, 0.4520, 0.4360, 0.4140, 0.4200,	0.356, 0.144, 0.340, 0.447, 0.362,	17.07
	0.4140, 0.3980, 0.4140, 0.3760, 0.3380, 0.3980, 0.4100, 0.4080, 0.3980	0.370, 0.395, 0.414, 0.425, 0.296, 0.334, 0.348, 0.392, 0.450,	
本 文	0.4865, 0.4529, 0.4483, 0.4440, 0.4385, 0.4375,	0.2900, 0.2084, 0.3870, 0.3724, 0.3879,	17.0385
	0.4302, 0.4246, 0.4204, 0.4185, 0.4179, 0.4173, 0.4173, 0.4173, 0.3984	0.3824, 0.3025, 0.3896, 0.3715, 0.3532, 0.3910, 0.3967, 0.4439, 0.4075	

表 2, 文献[6]与本文优化比较 ( $15$  元,  $r=0.003\lambda$ )

## 5. 八木天线阵的优化

八木天线阵列与八木天线相比, 副瓣较低, 方向性增益较高。对于平行多列的八木天线阵, 单元天线相同, 列距相同为半波长。可以通过调整激励源的强度(输入电压)来改变副瓣高度和主瓣宽度。一般来说, 增大中间单元的激励强度能够降低第一副瓣高度, 增大两边单元的激励强度可以降低第二, 第三等副瓣, 但副瓣的降低会导致主瓣的展宽, 方向性的变差。因此, 应该根据实际应用的需要来选择天线的辐射性质。本文所讨论的天线阵的限制副瓣电平不超过-20dBi。

对于八木天线阵的优化方法, 与上述的单列天线的优化方法相似, 也是通过分级优化实现方向性增益的累积。不同的是, 对于天线阵的优化问题, 每级优化

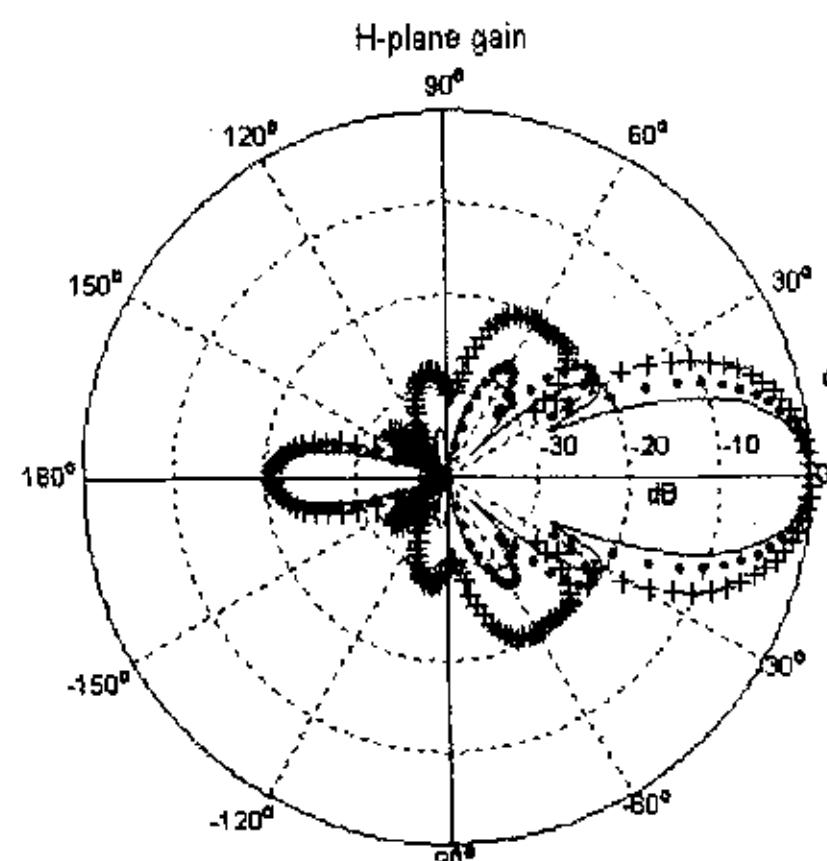


图 3, 八木天线阵 H 面方向图  
(+3 列, • 4 列, —5 列)

的对象是天线阵而不是天线，而且，优化的过程不考虑激励源的影响。在优化结束后，利用试探法调整整个单元的激励强度来调整天线阵的副瓣高度，满足要求。

本文对平行多列八木天线阵列结构的优化结果如表 3 所示。表 3 对应的八木天线阵的 H 面方向图如图 3 所示。可以看出，副瓣的高度是满足本文提出的限定条件-20dBi 的。

列数	$l(\lambda)$	$p(\lambda)$	输入电压	Gain (dBi)	SLL (dBi)
3	0.4974, 0.4703, 0.4333, 0.4249, 0.4249, 0.4185	0.2700, 0.2240, 0.3733, 0.3840, 0.3403	1, 1.1, 1	15.0849	-20.4248
4	0.4961, 0.4558, 0.4367, 0.4349, 0.4297, 0.4178	0.2767, 0.2134, 0.3713 0.3389, 0.3717	1, 1.25, 1.25, 1	16.3343	-20.2088
5	0.4948, 0.4771, 0.4419, 0.4360, 0.4289, 0.4235	0.2733, 0.2062, 0.3608, 0.3689, 0.3584	1, 1.1, 1.1, 1.1, 1	17.1821	-20.2032

表 3, 平行八木天线阵的优化结果( $r=0.003 \lambda$ )

## 6. 结论

本文介绍了用遗传算法优化八木天线和八木天线阵的方法。用遗传算法优化天线方面的文章很多，而本文则强调根据天线结构特性来约束参量关系，即通过降低参量空间维数来提高优化的效率，以求得较好的优化结果。本文通过具体算例说明了这种方法的可行性。

## 参考文献

- [1] 康行健. 天线原理与设计. 北京: 国防工业出版社, 1995
- [2] 林昌禄. 天线工程手册. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [3] Z. Michalewicz (美)著, 周家驹, 何险峰译. 演化程序——遗传算法和数据编码的结合. 北京: 科学出版社, 2000
- [4] 王小平, 曹利明. 遗传算法——理论, 应用与软件实现. 西安: 西安交通大学出版社, 2002
- [5] Sophocles J.Orfanidis. Electromagnetic Waves and Antennas. [www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/June21,2004](http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/June21,2004)
- [6] Eric A. Jones, William T. Joines, Design of Yagi-Uda Antennas Using Genetic Algorithms. IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 45, NO. 9, SEPTEMBER 1997

## 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>