

一种自适应的毫米波多波束天线

恽小华,陈春红,楚 然,孙琳琳

(南京理工大学微波与通信工程研究中心,江苏南京 210094)

摘 要: 本文设计了一种自适应的毫米波多波束天线.采用一种新颖的馈电方式来产生低副瓣、高增益、高邻近波束重叠的窄波束.并且采用数字波束形成技术来产生多波束.仿真和计算结果表明,这个天线的波束波瓣宽度可以达到 1° ,并且副瓣电平低于 -25dB .采用自适应技术后,可以得到小于 -30dB 的理想零陷.

关键词: 天线;抛物面天线;多波束;自适应;数字波束形成技术

中图分类号: TN820 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 03-0522-03

A Self-Adaptive Millimeter-Wave Multiple-Beam Antenna

YUN Xiao-hua, CHEN Chun-hong, CHU Ran, SUN Lin-lin

(Microwave and Communication Engineering Research Center, NUST, Nanjing, Jiangsu 210094, China)

Abstract: A 44GHz self-adaptive multiple-beam antenna was designed. Low sidelobe, high gain and high adjacent beam overlap are generated by adopting a novel way of feed. Multiple beams are generated by employing digital beam forming techniques. Simulation and computation have shown that narrow beams diameter of one degree, low sidelobe and crosspolar levels of -25dB are achieved. The adaptive antenna realizes null depths of better than 30dB .

Key words: antenna; parabolic reflector; multiple-beam antenna; self-adaptive; digital beam forming

1 引言

星载天线实现多波束形成的类型有两种:相控阵天线和多波束天线(MBA)^[1].国内一般都采用相控阵天线,对多波束天线的研制还不多.前者通过控制天线单元的馈电相位,极其灵活地实现波束扫描或快速跳变,并获得良好的空间(调零)分辨特性.但它用作卫星天线时,其波束覆盖性能往往难以满足要求.而多波束天线利用同一天线口径形成多个独立且相互重叠的窄波束,虽然其调零分辨率不及相控阵天线,但它可以实现波束的最佳空域覆盖,并且易于在干扰源方向形成具有宽带特性的零点.而且根据国外的经验,多波束天线结构比相控阵天线更适合工作在频率较高的 SHF 或 EHF 频段^[2,3].这里,用一个多波束天线系统代替单波束天线,每个波束覆盖一个较小的区域,但增益较大,并且这些波束相互重叠,连续覆盖服务区从而避免出现空洞,而且具有较低的副瓣电平来抗干扰^[4,5].

现有的多波束卫星通信系统一般不能同时检测和跟踪多个目标,而这里采用的数字波束形成技术(DBF)能够同时实现这两个功能.它是提高天线性能的一种强有力的技术,保存了天线口径上可利用的全部信息^[6],与数字处理相结合,提供了巨大的适应性.这里采用了一种新颖的馈电方式.图1(a)所示的是一般采用馈电方法.为了产生多波束,每个波束使用一个喇叭.但是,这种馈电方式不能同时满足多波束天线低副

瓣、高邻近波束重叠的需要.而如图1(b)所示的改进的馈电方式使用一组喇叭来产生每个波束,就解决了这个问题^[7].

为了使波瓣宽度约为 1° ,重叠波束张角为 8° ,天线大约需要 85 个波束,即 121 个馈源单元.副瓣和交叉极化电平需要小于 -25dB ,从而使干扰最小.用 Ansoft HFSS 软件仿真和优化单个馈源单元,再用 Matlab 编程合成 7 个单元阵产生的单个波束方向图,然后合成 85 个波束的静态方向图,最后采用自适应算法来得到 MBA 的自适应方向图^[8].

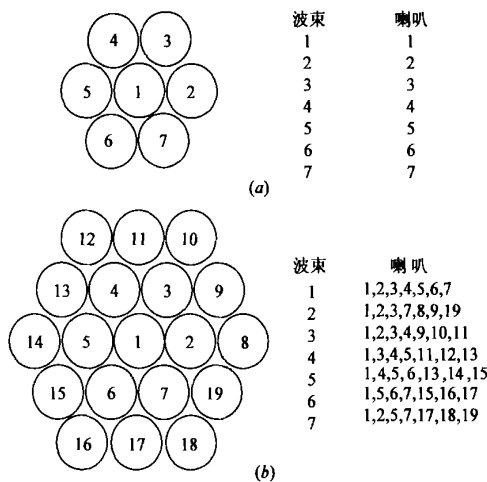


图1 两种馈电结构(a)基本型 (b)改进型

2 天线设计

馈阵放在焦平面上,每个单元都相同,相邻波束相互重叠,每条波束都由一个七元阵产生.反射面为偏置的抛物面.首先来计算这样一个 MBA 的尺寸^[9,10].

在近似分析的基础上,可以得到天线特性和天线参数间的关系式.天线工作在 44GHz.

(1) 反射器口径直径 (D)

此处的 D 与旋转抛物面的口径直径是不同的,是旋转抛物面上的一部分的圆形口径的直径.它取决于对波束宽度和副瓣电平的要求.可由下式得出:

$$D = (33.2 - 1.55 S_L) / \theta_0 \quad (1)$$

式中, S_L 为随着峰值增益而变化的副瓣电平(-dB), θ_0 为半功率波束宽度, λ 为波长.则波瓣宽度为 1°和副瓣电平为 -30dB时,口径直径取 0.542m.

(2) 焦距 (f)

f/D 值大时,具有较好的照射特性(空间衰减小,边缘照射较均匀),并且天线交叉极化特性较好. f/D 值小时,照射特性变差,同时由于馈源单元间距小而引起的相互耦合较大使天线方向图变差.焦距取 0.910m,即 f/D 取 1.68,对这个天线来说是最佳尺寸.

(3) 馈源单元数

馈源单元数由覆盖区域和反射器直径决定,可由下式近似得出:

$$N = \frac{\text{覆盖区域(用平方度表示)}}{2746(\theta_0 / D)^2} \quad (2)$$

$\theta_0 / D = 79.7$,覆盖的张角为 8°时,馈源单元数为 117,与实际所选的 121 相差不大.

(4) 馈源单元

其尺寸选择是决定 MBA 重叠特性的关键因素.单元尺寸取决于 f/D 值,可近似由下式求得:

$$d = 1.25 \frac{f}{D} \quad (3)$$

选择 f/D 值为 1.68,则喇叭单元尺寸近似为 2.1,即 14.28mm.由于每个单元相互靠紧,可计算得整个馈源阵列尺寸为 171.4mm × 162.7mm.

(5) 偏移距离

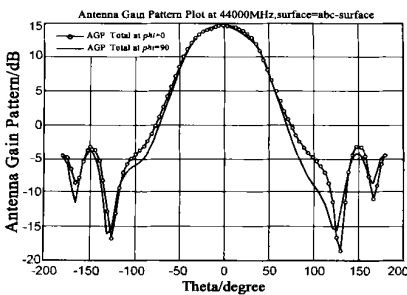


图 3 单个馈源的方向图

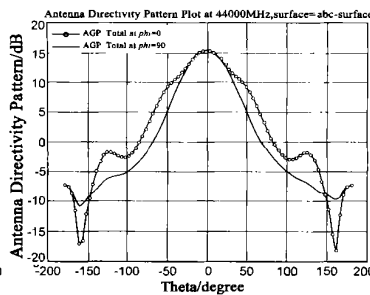


图 4 七元阵方向图

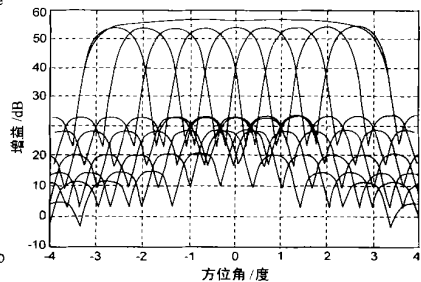


图 5 多波束天线静态方向图

由于馈源的阻挡会使天线副瓣电平升高、增益降低,且反射波将影响馈源,为了消除这些不利因素,我们选取偏馈法.反射器的偏移距离主要由馈阵和支撑结构的遮挡决定.因为覆盖角度等于 8°,所以选定 150mm 的偏移距离,在天线的瞄准方向和连接反射器下边缘与馈阵上端的连线之间,保持了一个恰当的角度(4.3°),从而完全消除了遮挡的影响.

3 七元阵设计

MBA 的馈源可以看作用由多个七元阵组成,因此我们以一个七元阵为馈源的简化模型(SMBA)为例来说明 MBA 的结构.SMBA 包括一个偏置抛物面为反射面(其尺寸在前面已给出).馈源置于抛物面焦点平面上.图 2 给出了 SMBA 的框图.馈阵由七个圆锥喇叭、销钉式极化器、连接网络波导、相位幅度控制装置(PAC)、控制单元和 7-1 波束形成网络(BFN)组成.由 PAC 装置和控制单元得到所需的振幅和相位激励^[7].

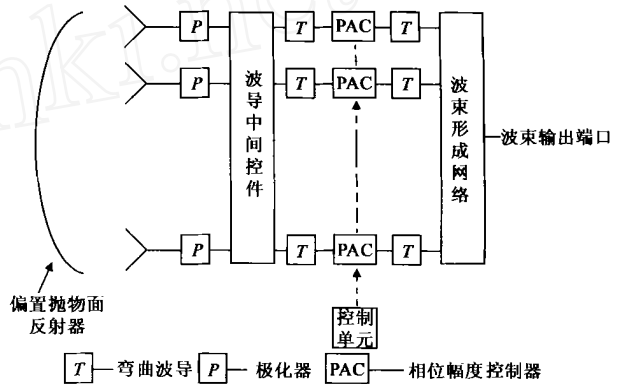


图 2 SMBA 的框图

4 计算机仿真

用 Ansoft HFSS 软件仿真单个喇叭和七元阵馈源的方向图.图 3 所示为单个馈源的方向图.七元阵列的方向图如图 4 所示.

然后用 Matlab 编程,得到多波束天线的静态方向图,如图 5 所示,其中每个独立波束的方向图具有贝塞尔函数特性,且波束宽度为 1 度,实线是独立波束的方向图,虚线是合成叠加以后的方向图.

5 采用自适应技术优化设计天线

要实现既增强接收的所需信号又抑制不需要的干扰信号这两个目标,多波束自适应调零天线试验系统组成如图 6 所示. DBF 的作用就是通过将各个波束加权求和后,在输出时形成一个具有干扰零陷的抽象波束,等效为接收天线的波束形状产生自适应变化.而自适应处理器用来调整波束形成网络中的可变加权系数,可进一步划分为信号处理器和自适应算法控制器两部分^[12,13].

在自适应过程中,采用哪一种算法是个关键性的难题,因为算法的优劣不能单纯地从某一方面考虑,而要对暂态响应、稳态响应、计算复杂度和实现难度等多方面综合考虑.这里采用 Frost 算法进行优化.这是一种约束型的自适应阵处理.在自适应阵的加重的同时保持阵在特定方向和特定频率的响应.假定阵处理器在每个阵元后连接一根抽头延时线,且每个抽头上都有一个实的加权^[14,15].

这里假定所需信号方向为 -0.5° ; 干扰方向为 $+1^\circ$; 选择 500 个采样点,信噪比为 0dB,干噪比为 26dB. 仿真流程图见图 6. 优化后的天线方向图如图 7 所示.

自适应调零技术完善了天线的抗干扰性能,当覆盖区域内有强烈的无用信号或干扰时,采用这种技术有望抑制此类因素造成的通信质量恶化甚至通信中断,从而保证通信的完成^[11].

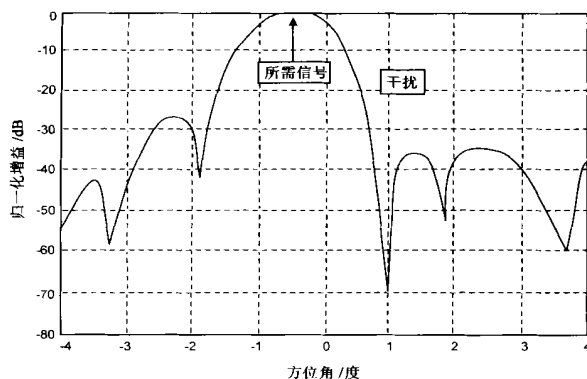


图 7 自适应方向图

6 结束语

通过仿真和计算可得天线总的增益接近 60dB,副瓣电平

低于 -25dB,邻近波束重叠大于 3dB.经自适应处理后可在干扰方向得到好于 -30dB 的零深.这个天线可作为卫星通信的接收天线.它能够尽量减少干扰和干涉的影响,具有相当高的增益和效率,且能够同时检测和跟踪多个目标,并在干扰方向形成很深的零陷.

参考文献:

- [1] William C Wong. MBA versus phased array for electronic beamsteering [J]. IEEE MTT, 1995, 5: 1684 - 1687.
- [2] 宋强,王华力,甘仲民. 卫星多波束天线自适应调零算法比较 [J]. 微波与卫星通信, 1999, 2: 20 - 24.
- [3] 刁育才,左凤琴,等. 毫米波技术及其军事应用[M]. 北京:北京兵器工业出版社, 1991, 4.
- [4] 朱瑞平,何炳发. 空馈相控阵天线的效率[J]. 现代雷达, 1999, 6: 71 - 76.
- [5] 徐道立. 单脉冲低副瓣天线馈源系统[J]. 现代雷达, 1999, 2: 71 - 75.
- [6] 丘文杰. 数字波束形成技术(DBF)在雷达中的应用(概述)[J]. 成都电讯工程学院学报, 1988, 17(增刊 1).
- [7] K Sudhakar Rao, Gilber A Morin, Minh Q Tang, Sylvain Richard, Kwork Kee Chan. Development of a 45 GHz multiple-beam antenna for military satellite communications[J]. IEEE Trans, 1995, 43(10): 1036 - 1047.
- [8] K S Rao, HJ Moody. Modelling of shaped beam satellite antenna patterns [J]. IEEE Trans Antenna Propagat Symp, 1987, 35(6): 639 - 642.
- [9] G S Gupta, M Tang, K S Rao, C K Mok. Design and trade-off study for intelsat 7 C-band antenna system[A]. SBMO Int Microwave Symp [C]. Sao Paulo, Brazil: IEEE, 1989, 7: 207 - 212.
- [10] Sudhakar K Rao. Gaussian beam analysis of multiple beam reflector antennas[J]. IEEE Trans, 1998, 2: 2078 - 2081.
- [11] Son H Huynh, Antony Ho, C Harry Chen. A aepet beam forming network for reflector multipler-beam antennas [J]. IEEE MTT, 1997, 3: 1394 - 1397.
- [12] Alan J Fenn. High-resolution adaptive nulling performance for a light-weight agile ehf multiple beam antenna [J]. IEEE Microwave Systems Conference, 1995, 8: 181-184.
- [13] R T 康普顿. 自适应天线——基本概念与特性[M]. 龚耀寰, 等译. 四川成都: 四川科学技术出版社, 1990.
- [14] Jason Duggan, Peter Mclane. Adaptive beamforming with a multiple beam antenna [J]. IEEE Trans, 1998, 9: 395 - 401.
- [15] OTIS LAMONT FROST. An algorithm for linearly constrained adaptive array processing[J]. Proceeding of the IEEE, 1972, 6(8): 926 - 935.

作者简介:

恽小华 男, 1965 年生于江苏省武进, 1988 年毕业于中国科技大学无线电系, 1996 年晋升为教授. 现任南京理工大学微波与通信工程研究中心主任, 主要研究方向: 微波毫米波射频技术、通信与信息处理技术等.