

宽角扫描圆极化相控阵天线轴比的优化设计

赵泓懿 闫涛 王五兔

(西安空间无线电技术研究所, 西安 710000)

摘要 文章推导了椭圆极化的分解表示方式, 从理论上给出了优化天线轴比的方法。给出了几个实际天线的测试结果比较, 验证了该方法的可行性。

关键词 圆极化 宽角扫描 轴比

0 引言

宽角扫描圆极化天线阵列的轴比由两方面决定:一是阵列单元自身的轴比,二是阵列排布方式对天线轴比的影响。对圆极化阵列单元轴比的改善,已有许多文献论述过^[1~3],且多为微带结构。阵列排布方式对轴比影响的研究,也是以微带单元阵列为例^[4]。文章以螺旋阵列为例,给出了测试实验结果的比较。

1 椭圆极化的分解表示法

椭圆极化可以分解成两个旋向相反的圆极化(圆极化表示法),如图1所示。在 x' , y' 坐标中有一椭圆复矢量 \vec{E} ,

$$\vec{E} = A \vec{x}' + jB \vec{y}' \quad (A, B \text{ 为实数})$$

$$= (B + A - B) \vec{x}' + jB \vec{y}' \quad (C = A - B)$$

$$= B \vec{x}' + jB \vec{y}' + C \vec{x}'$$

$$= B(\vec{x}' + j\vec{y}') + \frac{C}{2}(\vec{x}' + j\vec{y}') + \frac{C}{2}(\vec{x}' + j\vec{y}')$$

$$= (B + \frac{A - B}{2})(\vec{x}' + j\vec{y}') + \frac{A - B}{2}(\vec{x}' - j\vec{y}')$$

$$= \frac{A + B}{2}(\vec{x}' + j\vec{y}') + \frac{A - B}{2}(\vec{x}' - j\vec{y}')$$

$$\text{第一项} = \frac{A + B}{2}[\cos\beta \vec{x} + \sin\beta \vec{y} + j(-\sin\beta \vec{x} + \cos\beta \vec{y})]$$

$$= \frac{A + B}{2}[(\cos\beta - j\sin\beta) \vec{x} + j(-j\sin\beta \vec{y} + \cos\beta \vec{y})]$$

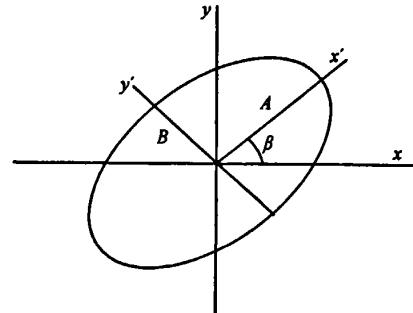


图1 圆极化分解示意图

$$\begin{aligned}
 &= \frac{A+B}{2} (\vec{x} e^{-j\beta} + j \vec{y} e^{-j\beta}) \\
 &= \frac{A+B}{2} e^{-j\beta} (\vec{x} + j \vec{y})
 \end{aligned} \tag{1}$$

$\frac{A+B}{2} e^{-j\beta}$ 为左旋圆极化波的幅度相位, β 由倾角转化为时间相位。

$$\begin{aligned}
 \text{同理, 第二项} &= \frac{A-B}{2} (\vec{x}' + j(-\vec{y}')) \\
 &= \frac{A-B}{2} [(\cos\beta \vec{x} + \sin\beta \vec{y} + j(\sin\beta \vec{x} - \cos\beta \vec{y}))] \\
 &= \frac{A-B}{2} [(\cos\beta + j\sin\beta) \vec{x} - j(\cos\beta + j\sin\beta) \vec{y}] \\
 &= \frac{A-B}{2} e^{j\beta} (\vec{x} - j \vec{y})
 \end{aligned} \tag{2}$$

$\frac{A-B}{2} e^{j\beta}$ 为右旋圆极化波的幅度相位。

$$\begin{aligned}
 E_L &= \frac{A+B}{2} & E_R &= \frac{A-B}{2} \\
 A+B &= 2E_L & 2A &= 2(E_R + E_L) \\
 A-B &= 2E_R & 2B &= 2(E_L - E_R) \\
 \therefore A &= (E_R + E_L) \\
 B &= (E_L - E_R) \\
 \therefore \text{轴比 } r &= \frac{B}{A} = \frac{E_L - E_R}{E_R + E_L}, E_L, E_R \text{ 表示左右旋圆极化幅度。}
 \end{aligned} \tag{3}$$

2 阵列单元旋转法

为了改善天线阵的圆极化轴比, 可以对天线单元分组进行旋转^[4,5], 从(2)式可知, 对单元旋转后轴倾角 β 改变, 会引起主极化和交叉极化相位特性的改变。如给左旋螺旋单元进行 $+j\beta$ 的相位补偿, 则主极化相位为零, 交叉极化相位为 $+2\beta$ 。

$$\text{则: } \bar{E} = \frac{A+B}{2} (\vec{x} + j \vec{y}) + \frac{A-B}{2} e^{j\beta} (\vec{x} - j \vec{y})$$

在波束扫描方向为 (θ, ϕ) 时:

$$\vec{E}_{mi}(\theta, \phi) = E_{Rmi}(\theta, \phi) e^{j\beta_{mi}} \vec{R} + E_{Lmi}(\theta, \phi) e^{-j\beta_{mi}} \vec{L} \tag{4}$$

$$\text{其中: } \vec{R} = \vec{x} - j \vec{y}, \vec{L} = \vec{x} - j \vec{y}$$

对于 M 组, 每组有 N 个单元的阵列, 其场方程如下所示:

$$\vec{E} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N \vec{E}_{mi} \alpha_{mi} e^{j(\vec{k} \cdot \vec{\rho}_{mi} - \varphi_{mi})} \tag{5}$$

将(4)式代入(5)式, 整理得:

$$\vec{E} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N [E_{Rmi}(\theta, \phi) e^{j(\vec{k} \cdot \vec{\rho}_{mi} + \beta_{mi} - \varphi_{mi})} \vec{R} + E_{Lmi}(\theta, \phi) e^{j(\vec{k} \cdot \vec{\rho}_{mi} - \beta_{mi} - \varphi_{mi})} \vec{L}] \cdot \alpha_{mi} \tag{6}$$

设 \vec{R} 为主极化, 令 $\varphi_{mi} = \vec{k} \cdot \vec{\rho}_{mi} + \beta_{mi}$ 用来补偿空间的程差及主极化旋转的相差, 则场方程变化为:

$$\vec{E} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N [E_{Rmi}(\theta, \phi) a_{mi} \vec{R} + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N E_{Lmi}(\theta, \phi) a_{mi} e^{-j\beta_{mi}} \vec{L}] \quad (7)$$

由(7)可知, $\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N E_{Rmi} a_{mi}$ 表示右旋圆极化同相相加, 能得到最佳匹配状态, 如果 $\beta_{mi} (i = 1, \dots, N)$ 构成一个周期, 则反旋分量成周期相消状态, 反旋分量减小。

综上所述: 可以看出天线阵的极化特性在波束扫描方向及主波束范围内得到改善, 主极化增益得到提高, 而在主波束以外极化特性可能变坏。

3 实例介绍

(1) 某 19 单元阵列的正前方轴比测试结果比较(如图 2、图 3 所示)

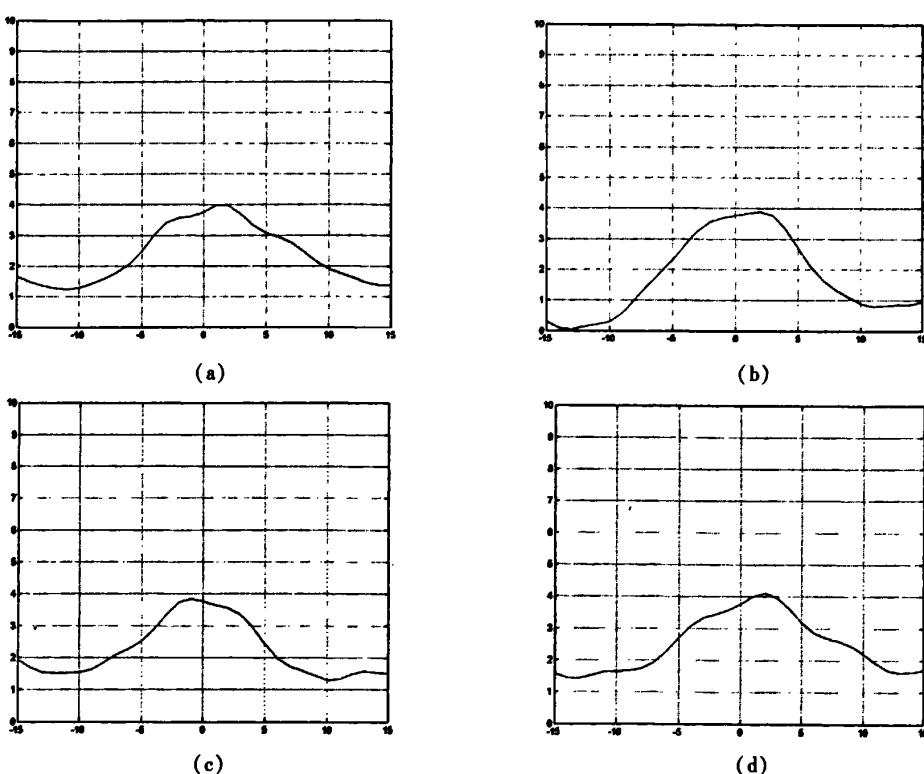


图 2 旋转前天线轴比图 $\varphi = 0^\circ, \theta = 0^\circ$ (a:0°面, b:45°面, c:90°面, d:135°面)

由此例可知: 在方向图的正前方, 旋转单元以前的最大轴比为 3.9dB, 采用单元旋转以后, 测试所得的正前方最大轴比为 1.2dB。正前方轴比得到极大改善, 主波束范围内轴比也得到很大改善。

(2) 某 24 单元阵列宽角扫描时在 3 个不同切面轴比的测试结果比较

由此例可知, 轴比测试均在 20°波束范围内进行。在 150°切面内宽角扫描时波束正前方轴比由旋转前的 10dB 变为 5dB; 在 120°切面内宽角扫描时波束正前方轴比由旋转前的 11dB 变为 5dB; 在 60°切面内宽角扫描时波束正前方轴比由旋转前的 14dB 变为 4dB。在 20°的主波束范围内, 轴比也得到很大改善。

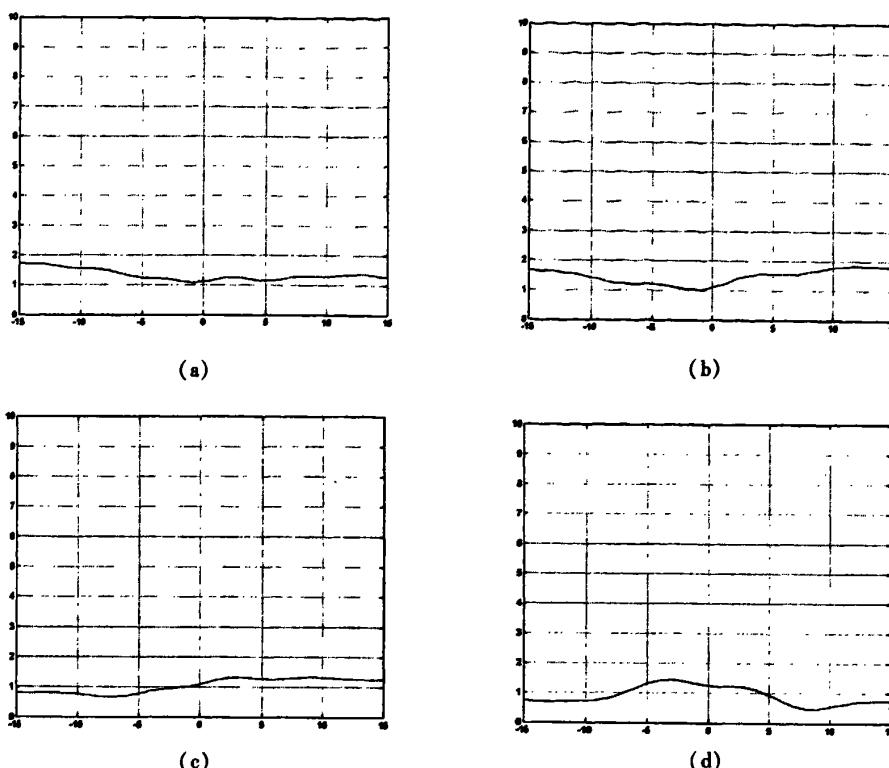


图3 旋转后天线轴比图 $\varphi=0^\circ, \theta=0^\circ$ (a:0°面,b:45°面,c:90°面,d:135°面)

由此2例可知,该方法对于改善相控阵天线宽角扫面时的轴比有很明显的作用。

参考文献

- [1] 李静涛,等.极化微带天线及其阵列的研究与设计[C].2003全国微波毫米波会议论文集.2003
- [2] 惠鹏飞,等.圆极化微带天线的分析与优化设计[J].辽宁工学院学报.2006(12)
- [3] 胡明春,等.宽带宽角圆极化微带贴片天线设计[J].电波科学学报.2001(12)
- [4] Hall P S,etc. Design principles of sequentially fed, wide bandwidth, circularly polarized microstrip antennas[C]. IEE Proceedings, Vol. 136, PTH, No. 5, Oct. 1989:381
- [5] Huang J,A technique for an array to generate circular polarization with linearly polarized elements[J]. IEEE Trans. on AP, Vol. AP - 34, No. 9, Sept. 1986;1113

作者简介

赵泓懿 1978年生,2002年毕业于武汉大学,2005年在西安空间无线电技术研究所攻读硕士研究生。主要研究方向:星载天线设计。

闫 涛 1981年生,2003年毕业于西北工业大学。主要研究方向:星载天线设计。

王五兔 1964年生,研究员,硕士生导师。主要研究方向:星载天线理论与设计。

Axial Ration Optimization of Wide Scan Phased Array Antenne

Zhao Hongyi Yan Tao Wang Wutu

(Xi'an Institute of Space Radio Tachnology, Xi'an 710000, China)

Abstract In this paper, the decomposition of the elliptical polarization is deducted, and the axial ratio of the optimization method for the antenna is given. Finally, some test results are compared to verify the effectiveness of this method.

Key words Circularity polarization Wide scan Axial ration

(上接第 81 页)

4 结论

文章提出了一种基于导频符号的整偏估

计算法,该算法能够在大范围符号定时偏移的情况下准确地估计出系统整偏。与其他的传统算法相比,在不牺牲系统性能的前提下有较低的实现复杂度,具有很好的应用前景。

表 1 三种算法的复杂度比较

算法	复数乘法次数
改进算法	$N + N_c^2$
Nogami 算法	N^2
IFFT 算法	$N^3/2\log_2 N$

参考文献

- [1] ETSI. Radio broadcasting systems, digital audio broadcasting (dab) to mobile, portable and fixed receivers[S]. In ETS 300 401 , Valbonne, France, Feb. 1995
- [2] Nogami H and Nagashima T. A frequency and timing period acquisition technique for OFDM systems[C]. in Proc. PIRMC'95, 1995: 1010 ~ 1015
- [3] Taura K, Tsujishita M, Takeda M, et al. Digital audio broadcasting(DAB) receiver[J]. IEEE Trans. Consumer Electron, 1996, 42(3) :322 ~ 327
- [4] ETSI. Digital Broadcasting system for television, sound and data services[S]. European Telecommunications Standard, prETS 300 744 (Draft, Version 0.0.3), Apr. 1996

作者简介

周 正 1982 年生,硕士生。研究方向为密码学与信息安全、无线通信。

杨 乐 1983 年生,硕士生。研究方向为密码学与信息安全。

李 珍 1982 年生,硕士生。研究方向为通信与信息系统。

Low-Complexity Integral Frequency-Offset for DAB System

Zhou Zheng Yang Le Li Zhen

(School of Telecommunication Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract In this paper, we present a low-complexity coarse frequency offset estimation technique for an OFDM-based transmission system with a emphasis on Eureka-147 DAB receiver. It has been shown that the proposed algorithm has high robustness against a large range of symbol timing offset with a low implementational complexity by simulation.

Key words OFDM DAB Coarse frequency offset Phase reference symbol

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)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)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)，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>