

文章编号 1005-0388(2008)02-0305-05

共用口径 S/X 双波段双极化微带天线阵*

钟顺时^{1☆} 瞿新安¹ 张玉梅² 梁仙灵¹

(1. 上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072;

2. 华东电子工程研究所, 安徽 合肥 30031)

摘要 介绍了一种新的应用于合成口径雷达的双波段双极化(DBDP)共用口径微带天线阵, 工作于 S 波段和 X 波段。为了实现 S/X 波段的奇数频率比(1 : 3), 在 S 波段采用正交的微带振子天线, 在 X 波段采用双极化方形微带贴片天线; 为获得较宽的带宽, 该二天线均采用双层结构。在馈电方式上, S 波段采用邻近耦合馈电, X 波段采用同轴探针和口径耦合馈电。对天线进行了仿真、设计、加工和测试, 仿真结果与实测结果吻合良好。实测的 S 波段和 X 波段阻抗带宽分别达 8.9% 和 17%, 实测的极化隔离度在两个波段内均优于 20 dB, 实测的 S 波段和 X 波段交叉极化电平分别在 -26 dB 和 -31 dB 以下。本研究验证了这种具有奇数频率比的共用口径 DBDP 微带天线阵的可行性, 对这种 DBDP 微带天线阵在 SAR 系统中的应用具有重要的参考意义。

关键词 微带天线阵; 双波段; 双极化; 共用口径; 宽频带; 合成口径雷达

中图分类号 TN 822 **文献标志码** A

Shared-aperture S/X dual-band dual-polarized microstrip antenna array

ZHONG Shun-shi¹ QU Xin-an¹ ZHANG Yu-mei² LIANG Xian-ling¹

(1. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University,
Shanghai 200072, China; 2. East China Research Institute
of Electronic Engineering, Hefei Anhui 230031, China)

Abstract A novel shared-aperture dual-band dual-polarized (DBDP) microstrip antenna array for synthetic aperture radar (SAR) operating at S-and X-bands is introduced. To meet the odd frequency ratio (1:3) of S/X bands, the orthogonal microstrip dipoles and the dual-polarized square patches are employed at S-band and X-band, respectively, while the two-layers configuration is used for both bands to achieve wider bandwidths. The proximately coupled feeds and the probe-fed and aperture-coupled feeds are applied for S-band and X-band, respectively. The antenna array was simulated and designed and two same test arrays are fabricated. The simulated results are good agreement with the measured ones. The measured impedance bandwidth ($VSWR \leq 2$) of the test array reaches 8.9% and 17% for S-and X-bands, respectively, and the measured isolation between polarizations for both bands is better than 20dB. The measured cross-polarization levels are ≤ -26 dB for

* 收稿日期: 2006-10-30.
基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20050280016); 国家高科发展
计划专题项目(2007AA12Z125 课题)

☆E-mail: shshzhong@163.com
万方数据

the S-band and $\leq -31\text{dB}$ for the X-band. This work verifies the practicability of this type of dual-band dual-polarized microstrip antenna arrays with the odd frequency ratio, which will be instructive for the future SAR applications of this type of DBDP microstrip antenna arrays.

Key words microstrip array; dual-band; dual-polarization; shared-aperture; broadband; SAR

1 引言

合成口径雷达(SAR)是一种先进的微波对地观测设备,具有全天候、全天时工作的特点且对地面植被有一定穿透能力,对国民经济和军事应用有着十分重要的作用,世界上先进国家都在大力发展SAR技术^[1]。美国在20世纪50年代就开始了SAR遥感成像技术的研究,1978年发射的Seasat SAR标志着SAR已成功地进入太空对地观测新时代。我国从70年代中期开始了合成口径雷达的研究,已经在机载和星载SAR的研究中取得了较大的进展。

1978年发射的Seasat SAR,1981年发射的Spaceborne Imaging Radar-A(SIR-A)以及1984年发射的SIR-B都是工作于L波段的单波段单极化收发系统^[2]。1994年发射的SIR-C/X-SAR系统,首次实现了多波段和多极化的工作^[2,3]。随着合成口径雷达技术的发展,能够多波段多极化工作的SAR系统已成为研究的热点。

作为合成口径雷达系统的一个重要组件,SAR天线对合成口径雷达系统的性能起着相当关键的作用,一般采用波导缝隙阵和微带阵形式。在SIR-C/X-SAR系统中,由美国研发的IR-C子系统工作于L和C波段,其天线采用微带天线阵形式。由德国和意大利研发的X-SAR子系统采用了一个工作于X波段的波导缝隙阵作为天线。由于3个波段的天线阵只是共享了同一个支撑结构,而并没有共用同一个口径,导致了整个天线阵体积庞大,仅天线部分重量就超过了3300kg。可见,迫切需要设计共用口

径的多波段多极化天线阵列以减小多波段SAR天线的体积和重量。由于微带天线较波导缝隙天线更容易实现多波段多极化和二维相扫工作,而且具有重量轻,易共型等优点,所以共用口径的多波段多极化天线阵列大多以微带的形式实现^[4~6]。在文献[4]中,交错放置的微带贴片天线和印刷缝隙天线形成了一个C/X共口径双波段双极化(DBDP)微带阵列;文献[5]和[6]中都运用了在低波段开孔的方法,将高波段的方形贴片天线置于低波段开孔下方,分别构成了L/C双波段和L/X双波段的共口径DBDP微带阵列。表1给出了文献[4~6]中提出的DBDP微带天线阵的单元形式和主要指标。

虽然上述的共口径DBDP微带天线阵都满足了基本的设计指标要求,但是还存在两个比较大的缺陷。其一是上述的双波段阵列所能适用的双频比非常有限,多是1:2,1:4,1:8等偶数频率比,而很难适用于更为一般的频率比。其次是带宽问题,尤其对于低波段天线,要获得较大的带宽比较困难。本文提出一种由低波段正交微带振子和高波段双极化方形贴片组成的共用口径S/X双波段双极化微带天线阵,用于二维扫描SAR系统。由于微带振子置于高波段贴片的阵列间隔处,其长度可以在一个相对较大的范围内调节,因此适用于更为宽广的频率比范围;同时,在两个波段上均采用双层结构来展宽带宽。为便于比较,在表1末也列出了本文提出的天线阵的主要指标。下面将依次介绍此共用口径阵列的结构,单元和阵列设计,及实验阵的实测结果。

表1 一些国外文献与本文DBDP天线阵的单元形式和主要指标比较

时间	国家/机构	波段	单元形式	带宽	极化隔离
1998	美国[4]	C,X	C:矩形贴片	C:4~5%(VSWR≤1.5)	—
			X:印刷缝隙	X:2~3%(VSWR≤1.5)	—
2000	加拿大[5]	L,C	L:开孔贴片	L:6.4%	—
			C:矩形贴片	C:5.7%	—
2001	美国[6]	L,X	L:开孔贴片	L:≥6%	L:≥20dB
			X:矩形贴片	X:≥10%	X:≥18dB
2006	上海大学(本文)	S,X	S:双层微带振子	S:≥8%	S:≥25dB
			X:双层矩形贴片	X:≥15%	X:≥20dB

2 DBDP 天线设计

为设计共用口径的DBDP微带天线阵,需将工作于两个波段的微带天线合理地整合在同一套结构中。由于两个波段上都采用双层设计,由S波段微带振子与口径耦合馈电的X波段贴片天线组成的DBDP天线如图1(a)所示;而由S波段微带振子与同轴馈电的X波段贴片天线组成的DBDP天线如图1(b)所示。在这两套结构中,第2和第4层都采用硬泡沫材料,在设计中其厚度可以调节,成为控制两个波段各耦合量的主要途径。我们看到,前者需要6层介质层,而后者由5层介质层组成。后者较为简单,我们的实验阵便采用此设计。

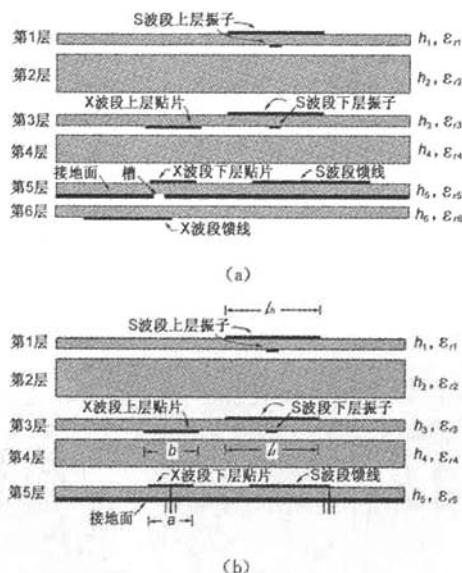


图1 S/X DBDP 共口径微带天线阵的侧视图

本文提出的DBDP共用口径微带天线阵的顶视图如图2所示。X波段单元的下层贴片略小于上层贴片,边长分别为a和b。S波段上两种极化的上层振子均略小于下层振子,长度分别为l_s和l_t。水平极化振子位于介质层上侧,垂直极化振子位于介质层下侧,从而可获得较高的隔离度。由于设计S波段双层振子时,需要其介质层与X波段统一,因此这里需要在馈线上加入一个匹配枝节。为了降低交叉极化电平,将匹配枝节设计为对称的形式。对于振子宽度的选择,我们在双层微带振子天线的带宽与它和邻近X波段贴片间的影响上做了折中,最后选定水平极化振子宽度为2 mm,垂直极化振子的宽

度为3 mm,这样既保证了天线在S波段的带宽,又尽量减小两波段间的互相影响。对于X波段双极化方形贴片单元的设计,为了抑制双极化微带天线阵的交叉极化电平,我们使用了倒相馈电技术^[7]。对3×3元的X波段子阵,分别采用一般的同相馈电方法和倒相馈电方法进行了仿真。同相馈电的X波段3×3元阵的交叉极化电平在-20 dB左右,而利用倒相馈电技术,交叉极化电平抑制到了-38 dB左右。可见利用倒相馈电技术可以很方便地实现对双极化微带天线阵的交叉极化抑制。

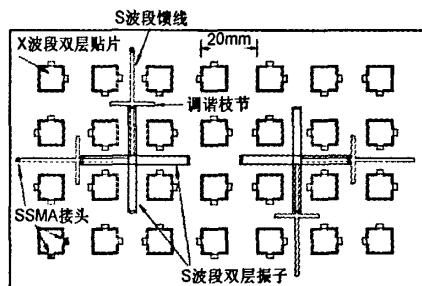


图2 S/X DBDP 共口径微带天线阵的正视图

两个波段的二维扫描都利用外加的RF网络来实现,因此需直接将两波段各单元端口连接至安装在天线背部的同轴连接器上,并都采用了小型的SSMA同轴接头。共用口径DBDP微带天线阵的外加RF馈电网络设计较为复杂。由于每个波段有2个极化端口,因此DBDP微带天线阵有4套馈电网路,这部分内容可以参看文献[8]。

3 DBDP 天线实验阵的仿真与实验结果

DBDP天线实验阵由7×4元X波段贴片阵列与2×1元S波段振子阵列构成,两个实验阵的照片如图3所示,下图是实验阵与外置馈电网络连接的照片。每个实验阵由5层介质层,5层粘胶,1个导体地板和60个SSMA同轴连接器构成。X波段仿真与实测的回波损耗和极化隔离如图4(a)所示。可以看到,双层贴片使得X波段贴片天线的带宽超过了17%,从9.07 GHz到10.82 GHz(VSWR≤2)。而天线的极化隔离度(-20lg|S₂₁|, dB)在带宽内不小于20 dB。相比口径耦合馈电的X波段双层贴片^[9],同轴馈电的双极化贴片天线的极化隔离度稍差。S波段仿真与实测的回波损耗和极化隔离如图4(b)所示。由图可见,双层微带振子天线的实测带宽(VSWR≤2)为8.9%,从2.91 GHz到3.18 GHz,达到了系统指标要求。极化隔离度在带内超

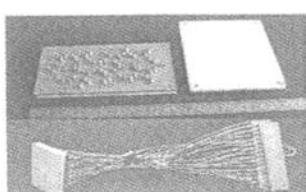
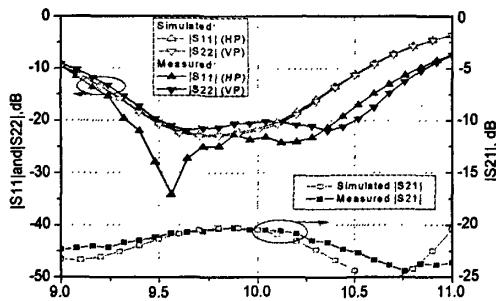
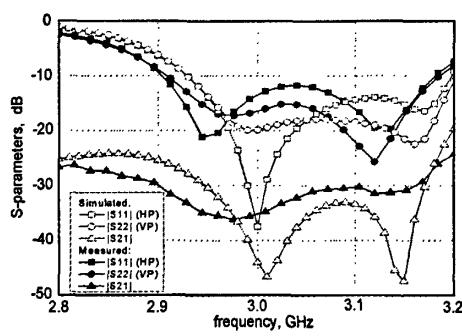


图3 实验阵照片



(a) X 波段



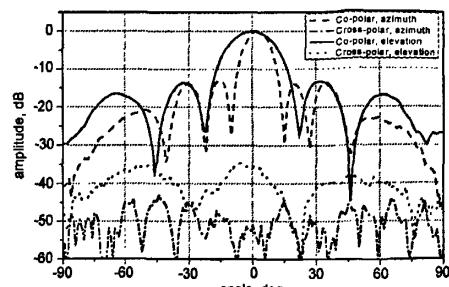
(b) S 波段

图4 仿真与实测的S参数比较

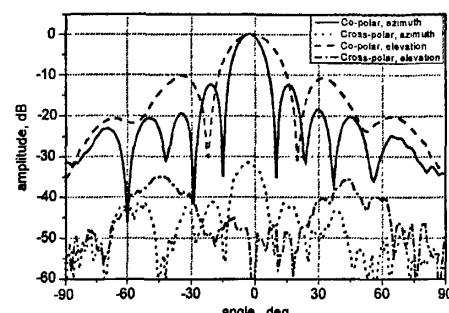
过25 dB,说明邻近耦合双极化微带振子的极化隔离性能较好。值得注意的是,S波段实测带宽较仿真带宽频率下移了约40 MHz,这主要是由于加工中使用的粘胶的性能不稳定所导致的。由于S波段实测带宽较设计指标具有余量,所以这对S波段的性能影响不大。

实测的X波段中心频率上的主极化和交叉极化方向图如图5所示。在两个主面上,两种极化的交叉极化电平均优于-26 dB,副瓣电平低于-10 dB。在X波段中心频率上,此 7×4 元面阵的实测增益为21.03 dB(不计外加馈电网络损耗)。图6给出了在S波段中心频率上实测的S波段主极化和交叉极化方向图。在两个主面上,两种极化的交

叉极化电平均优于-26 dB,这也验证了邻近耦合的正交放置的双极化微带振子具有较好的交叉极化性能。

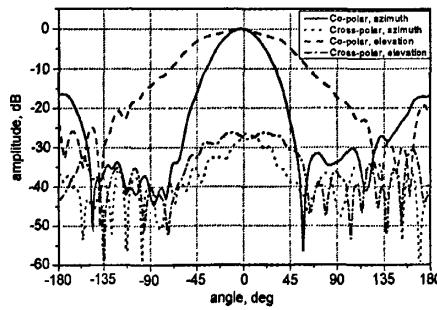


(a) 水平极化

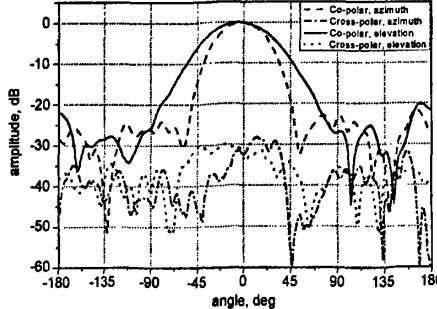


(b) 垂直极化

图5 实验阵的X波段方向图



(a) 水平极化



(b) 垂直极化

图6 实验阵的S波段方向图

4 结论

介绍了一种新的共用口径DBDP微带天线阵,采用双层X波段微带贴片和双层S波段微带振子的组合,能适用于较大范围内的频率比。双层结构大大地提高了天线在两个波段的带宽,两波段的介质层也能较为理想地整合到一起。仿真结果与实测结果吻合良好。实验阵的实测结果表明,S波段和X波段的阻抗带宽($VSWR \leq 2$)分别达8.9%和17%,两个波段的极化隔离度均优于20 dB,其交叉极化电平分别在-26 dB和-31 dB以下。本文验证了这种具有奇数频率比的共用口径DBDP微带天线阵的可行性,对这种DBDP微带天线阵在SAR系统中的应用具有重要的参考意义。

致谢:作者感谢华东电子工程研究所副总工程师鲁加国,天馈部汪伟博士高工和科技管理处魏驷工程师等同志对本课题的大力支持和帮助。

参考文献

- [1] 张直中.机载和星载合成孔径雷达导论[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [2] http://directory.eoportal.org/pres_SIRShuttleImagingRadarMissions.html
- [3] Jordan, R L, B L Huneycutt, and M Werner. The SIR-C/X-SAR synthetic aperture radar system[J]. Proc. IEEE, 1991, 79(6):827-837.
- [4] Pokuls, R, J Uher, and D M Pozar. Dual-frequency and dual-polarization microstrip antennas for SAR application[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagat., 1998, 46(9):1289-1296.
- [5] Shafai, L L, W A Chamma, M Barakat, et al.. Dual-band dual-polarized perforated microstrip antennas for SAR application[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagat., 2000, 48(1):58-66.
- [6] Pozar, D M, and S D Targonski. A shared-aperture dual-band dual-polarized microstrip array [J]. IEEE Trans. Antenna and Propagat., 2001, 49(2):150-157.
- [7] Liang, X -L, S -S Zhong and W Wang. Cross-polarization suppression of dual-polarization linear microstrip antenna arrays[J]. Microwave and Optical Technology Letters, Sep. 2004, 42(6):448-451.
- [8] Jaworski, G, V Krozer. A design of feeding network for a dual-linear polarization, stacked, probe-fed microstrip patch antenna array [C]. 15th International Conference on, Microwaves, Radar and Wireless Communications, Warsaw Poland, 2004, 2:473-476.
- [9] Zhong, S S, X L Liang and W Wang. Dual-polarized slot-coupled microstrip antenna with very high isolation[J]. Journal of Shanghai University(English Edition), 2005, 9(4):336-338.



钟顺时 (1939—),男,上海大学通信与信息工程学院教授,博士生导师,中国电子学会会士,IEEE高级会员。1960年西安军事电信工程学院毕业,1980~1982年美国华盛顿大学和伊利诺伊大学访问学者,研究顾问。长期从事电磁场与微波技术专业的教学与科研。曾获国家和省部级科技进步奖7项,省部级优秀教材奖2项,专利2项,著译4部,论文200余篇。主要研究方向为现代天线理论与技术等。

瞿新安 (1982—),男,上海大学通信与信息工程学院硕士,主要研究方向为微带天线,微波器件等。

张玉梅 (1961—),女,1988年电子科技大学研究生毕业,硕士,华东电子工程研究所天馈部主任,研究员,主要研究方向为微波天线等。



梁仙灵 (1978—)男,浙江人,2002年毕业于西安电子科技大学电磁场与微波专业,2007年获上海大学电磁场与微波技术专业博士学位。已在国内外重要期刊及会议发表论文约40余篇,目前主要研究方向为微带天线与微波电路。

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>