

文章编号 1005-0388(2009)05-0969-04

一种小型四阵元 GPS 天线阵列的设计

刘拥军 王大鸣 胡捍英

(解放军信息工程大学信息工程学院通信工程系, 河南 郑州 450002)

摘要 分析了 GPS 微带天线阵列阵元间的互耦特性, 得出了满足互耦要求的合适的最小阵元间距; 设计了一种小型四阵元 GPS 微带偏振天线阵列, 该阵列采用传统右圆极化阵元和双线性极化阵元相结合, 使得相同阵元的天线阵列的自由度提高; 从仿真的结果可以看出, 在不增加阵列面积的情况下, 该阵列能够在干扰方向产生比传统微带天线阵列更深的零陷, 很大程度地提高了阵列的抗干扰性能; 最后给出了 GPS 微带双频偏振层叠天线的一些重要的设计参数。

关键词 GPS; 微带天线; 天线阵列; 互耦; 偏振

中图分类号 TN011

文献标志码 A

The design of a small four elements GPS arrays

LIU Yong-jun WANG Da-ming HU Han-ying

(Dept. of Communication Eng., PLA Information Engineering
Univ., Zhengzhou Henan 450002, China)

Abstract Analyzed the mutual coupling of GPS arrays' elements; designed a small four elements GPS polarimetric arrays, this arrays combined the right-hand circularly polarized (RHCP) elements and dual-linearly polarized elements, increased the degrees of freedom of arrays at the same elements number; from the simulation results, can find that the arrays' performance of anti-jamming is improved greatly than traditional microstrip antennas; in the end, many design parameters of a compact GPS dual-frequency, dual-polarization stacked microstrip polarimetric arrays presented.

Key words GPS; microstrip antennas; antenna arrays; mutual coupling; polarimetric

引言

GPS 信号到达用户的功率比较低, 容易受到各种有意或无意信号的干扰。GPS 的抗干扰问题是卫星导航领域的一个研究热点。和其他通信系统一样, GPS 主要有时域、空域和频域三种抗干扰方法。空域抗干扰技术能够很好地在干扰方向产生零点, 同时还能增强期望方向的信号, 抗干扰效果很好; 空

域抗干扰技术的一个关键点就是天线阵列的设计。

天线阵列的设计的一个很重要的问题是天线阵列的阵元数量和体积; 总是期望单位面积内的阵元要尽可能的多, 阵元间的互耦要尽可能的小, 阵元的增益要尽可能高。很多情况下天线阵列的体积是受限的, 如航空器等移动的应用平台。那么在一定的面积内怎样在不付出性能代价的情况下尽可能地增加天线通道数是一个重要的问题。天线阵元间距越

收稿日期: 2008-12-30.

基金项目: “十一五”高科技发展计划重点项目 (No. 2008AA011100); 国防预先研究项目 (No. 40901010201)

联系人: 刘拥军 E-mail: lyj07210@yahoo.com.cn

小,阵元间的互耦就越强,这可能导致各个阵元的阻抗不匹配,破坏阵列的方向图,降低极化性能和自适应零点性能,所以要降低阵元间距以达到小型化的要求,需要分析阵元间的互耦特性是否满足要求。第一节主要研究了 GPS 微带天线阵列的互耦问题,分析 GPS 微带天线阵元间需要的最小间距。现阶段 GPS 天线阵列大部分都采用右圆极化(RHCP)微带天线阵元来匹配阵元极性和卫星信号的极性^[1];为了在最小的面积内放置足够多的阵元,提出了一种新的小型 GPS 偏振微带天线阵列,采用传统右圆极化阵元和双线性极化阵元相结合设计一种偏振阵列,该偏振天线阵列在相同数量的 N 阵元时比传统 GPS 微带天线多出 $N-1$ 个通道,自由度增加 $N-1$,满足互耦特性的要求;第二节对所提出的偏振天线阵列的抗干扰性能进行了仿真;最后给出了 GPS 微带双频偏振层叠天线的一些重要的设计参数。

1 理论分析

1.1 GPS 微带天线互耦特性研究

将一个导电板微带辐射阵元放置于一个距离地面不到一个波长的高度的平台上。根据槽隙原理^[2],微带辐射器可以认为是等效辐射槽隙,这样就能建立一个有用的模型来计算天线参数,例如辐射图,方向性,输入导纳等。每个微带片都在它的边缘有磁场环绕;从一个片磁场辐射到另一个片的边缘的磁场就产生了谐振;互导纳是由谐振的积分所决定的^[3]。

$$Y_{21} = -\frac{1}{V_1 V_2} \oint H_1 \cdot M_2 dl$$

式中, V_1, V_2 是两个片的输入电压(馈入终端的电压); H_1 是片 1 产生的 H 场; M_2 是片 2 边缘的磁场。

图 1 给出了两个独立的 RHCP 方形微带片不同介质衬底和不同阵元间距时的互耦特性。阵元间的互耦一般要求小于 -15 dB 才能保证阵列的整体性能;从图 1 中可以看出 RHCP 阵元在互耦特性满足要求的同时缩小阵元间距,需要非常高的介电常数的衬底,如果介电常数不超过 10,那么阵元间距应该大于 0.5 个波长,对于 GPS 信号,波长约为 19 cm,阵元间距需要大于 9.5 cm,才能满足阵元间的互耦要求。

1.2 小型 GPS 偏振天线阵列

从上面的分析可以看出 RHCP 阵列的小型化

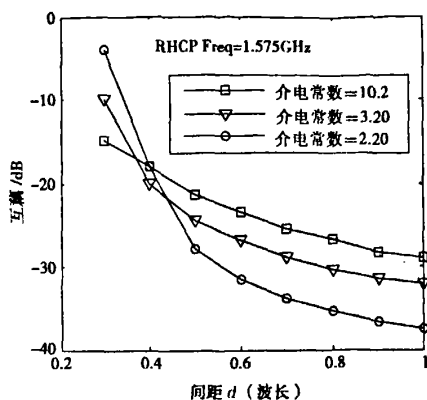


图 1 平行放置互耦性能图

有很多的局限性,而为了使得阵列能够产生的零陷个数足够多,而且零陷深度足够深,需要足够多的阵元来组成阵列;同时由于很多应用环境天线面积是受限的。为了在有限的面积内放置足够多的阵元数,可以考虑采用双线性极化的天线来设计阵列^[4],这样会使得一个阵元有两个通道,增加了阵列的自由度;采用线性极化的天线来接收右圆极化的信号,会有 3 dB 的极化损失,会影响期望信号的信噪比,不利于信号的接收。

通过上面的分析,考虑参考阵元采用 RHCP 阵元,这样保证接收信号的信噪比;同时采用双线性极化的阵元作为辅助阵元,由于相互垂直的双线性极化的通道之间互耦很小^[4,5],所以可以在 N 阵元内获得 $2N-1$ 通道;虽然线性极化天线接收右圆极化的信号会有 3 dB 的极化损失,但是干扰和信号的比值并没有变化,只是使得信噪比下降了 3 dB;而期望信号的信噪比主要靠采用 RHCP 的阵元作为参考阵元来保证,辅助阵列主要是用来抗干扰;所以这种设计不会影响期望信号的信噪比;同时,提高了天线阵列的通道数,也就提高了阵列的自由度。这种阵列可以称之为小型 GPS 偏振阵列。

4 以阵元的阵列为例,如图 2 所示为普通 RH-CP 阵列和偏振阵列的示意图,偏振的左上的参考阵

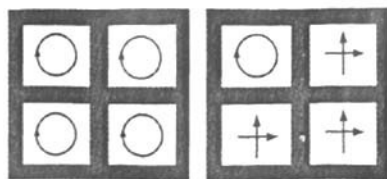


图 2 4 阵元普通 RHCP 阵列和偏振阵列示意图

元为 RHCP 阵元,其他三个辅助阵元为双线性极化阵元。可以看出该偏振阵列有 7 个通道,也就是说 N 阵元有 $2N-1$ 个通道,天线的自由度为 $2N-2$,可以产生 $2N-2$ 个零点。图 3 为设计的 GPS 双频线性极化层叠天线的横截面图, D_1 为 L1 频段的贴片长度, D_2 为 L2 频段的贴片长度, H_1 为片间距, H_2 为贴片和接地层的间距, ϵ_r 为相对介电常数。

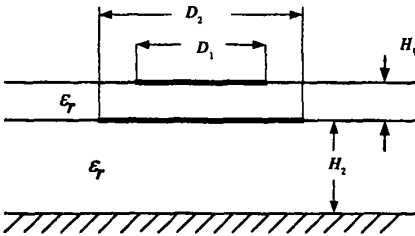


图 3 双频双线性极化层叠天线横截面图

2 实验结果分析

通过在干扰方向产生零陷的情况来对小型 GPS 偏振天线阵列的性能进行分析,仿真的阵列如图 2 所示的 4 阵元 RHCP 阵列和偏振阵列,阵元间隔为 0.5 个 GPS 信号波长;仿真的条件为 GPS 的 L1 和 L2 信号,干扰信号为连续波干扰,干噪比为 45 dB,信噪比为 -15 dB,这里主要是比较两种阵列的基本性能,假设信号和干扰方向角都已知;干扰和信号,以及干扰之间的方位角足够大。信号方向角为 0° ;当干扰数为 1 时,干扰来自 30° ;干扰数为 2 时,干扰来自 $(-30^\circ, 30^\circ)$;干扰数为 3 时,干扰来自 $(-30^\circ, 30^\circ, 60^\circ)$;干扰数为 4 时,干扰来自 $(-60^\circ, -30^\circ, 30^\circ, 60^\circ)$;干扰数为 5 时,干扰来自 $(-60^\circ, -30^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 80^\circ)$;干扰数为 6 时,干扰来自 $(-80^\circ, -60^\circ, -30^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 80^\circ)$ 。图 4 仿真了随着干扰个数的增加产生的零陷的深度。从图 5 中可以看出普通的 4 阵元 RHCP 阵列当干扰个数为 4 的时候,由于 4 阵元的自由度为 3,不能满足自由度大于等于干扰数量的要求;所以,产生的零陷性能下降明显,为 $-20 \sim -30$ dB,主要是阵列方向图的旁瓣衰减值,已经不能满足抗干扰的要求;而偏振阵列由于自由度为 6,大于干扰数量;所以,产生的零陷深度为 $-50 \sim -60$ dB,能够抑制干噪比为 45 dB (干信比为 60 dB) 的干扰信号。由于采用的仿真条件较为理想,所以产生的零点的深度比较深,在实际应用中,由于干扰和信号的位置等条件的影响,零点的深度会减小;但是从仿真中可以看出,所设计的偏

振阵列的零点性能会比 RHCP 阵列好。

表 1 为图 2 和图 3 所设计的双频双线性极化层叠天线模型的仿真参数和仿真结果,其中 $\epsilon_r, D_1, D_2, H_1, H_2$ 为图 3 中的设计参数, f_u, f_l, BW_u, BW_l 为两个频段 L1 和 L2 输出的频率和带宽;采用的是人工神经网络(ANN)模型进行仿真的^[6]。由于人工神经网络具有遗传能力,所以通过内插和递推的方式还可以得出其他参数时的结果。

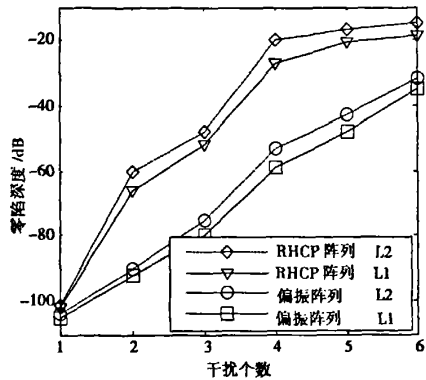


图 4 传统 RHCP 阵列和偏振阵列的抗干扰性能比较

表 1 双频双线性极化层叠天线设计参数表

ϵ_r	D_1	D_2	H_1	H_2	f_u	f_l	BW_u	BW_l
	/mm	/mm	/mm	/mm	/MHz	/MHz	/%	/%
2.94	51.56	63.50	1.78	7.87	1681.3	1248.8	1.34	2.40
2.94	57.10	64.77	1.78	7.87	1576.6	1232.5	1.85	3.65
2.94	57.10	64.77	3.35	7.87	1536.1	1207.1	2.67	2.49
2.94	57.10	64.77	3.35	9.45	1536.1	1183.7	2.19	1.90
2.94	57.10	64.77	1.78	9.45	1580.6	1212.8	1.54	3.24

3 结 论

GPS 天线阵列需要足够多的阵元和自由度以产生足够多和足够深的零陷以达到理想的抗干扰效果;根据第一节分析,为了保证天线阵元间的互耦足够小,以保证每个阵元的性能,阵元间距需要大于 0.5 个波长。当天线阵列面积受限的情况下怎样增加天线的阵元个数或自由度就成了一个重要的研究课题,所提出的小型 GPS 偏振阵列采用一个右圆极化阵列作为参考阵元,其他阵元为双线性极化阵元,能够在阵元数量不变的情况下提高阵元的通道数和自由度,能够在相同的面积内增加 $N-1$ 个天线通道数和 $N-1$ 的自由度。仿真结果表明,由于增加了天线的通道数和自由度,偏振阵列比传统右圆极化阵列的抗干扰性能要好得多。同时给出了双频双线性极化层叠天线的一些设计参数,为 GPS 双频偏

振阵列的设计提供了有用的参考。

参考文献

- [1] 叶云裳, 李全明, 等. 单馈点圆极化 GPS 微带天线[J]. 中国空间科学技术, 2002, 22(2): 30-34.
YE Yun-shang, LI Quan-ming, et al. GPS circularly polarized microstrip antenna with single feedpoint[J]. Chinese Space Science and Technology. 2002, 22(2): 30-34. (in Chinese)
- [2] HUANG J. The Finite Ground Plane Effect on the Microstrip Antenna Radiation Patterns[J]. IEEE AP-31, 1983, 31(4): 649-653.
- [3] NGAI E C, BLEJER D J. Mutual coupling analyses for small GPS adaptive arrays[J]. IEEE AP-S Int. Symp, 2001, 4: 38-41.
- [4] ROSTAN F, WIESBECK W. Dual polarized microstrip patch arrays for the next generation of spaceborne synthetic apertureradars[C]//International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Firenze, Italy, 1995: 2277-2279.
- [5] 朱旗, 吴磊, 徐善驾. 基于左手传输线的双线性极化微带阵列天线[J]. 电波科学学报, 2007, 22(3): 359-364.
- ZHU Qi, WU Lei, XU Shan-jia. Dual-linearly-polarized microstrip array based on left-handed transmission line[J]. Chinese Journal of Ratio Science. 2007, 22(3): 359-364. (in Chinese)
- [6] SOUTHALL H L, et al. Direction finding in phased arrays with a neural network beamformer[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1995, 43: 1369-1371.



刘拥军 (1979—), 男, 湖南人, 信息工程大学信息工程学院博士生, 主要研究方向是导航定位系统和通信信号处理。

王大鸣 (1971—), 男, 辽宁人, 信息工程大学信息工程学院副教授, 硕士生导师, 主要研究方向是移动通信系统和通信信号处理。

胡捍英 (1961—), 男, 河南人, 信息工程大学信息工程学院教授, 博士生导师, 主要研究方向是移动通信系统和通信信号处理。

(上接第968页)

4 结论

应用双因素等重复试验方差分析方法, 对 IMU 的 CS115 电磁敏感度试验进行了统计评定, 得到以下两点有意义的结论: (1) 应用方差分析方法可以准确评定 IMU 的电磁抗度试验等级, 而且还可以准确评定出 IMU 的临界抗电磁干扰能力; (2) 对于机械力学性能指标合格的 IMU, 由于因素 A (电磁干扰) 与因素 B (轴向转角) 之间没有明显的交互作用, 所以在电磁敏感度试验中可以减少因素 B 的水平简化试验过程, 从而有效提高试验效率、节约试验成本。

参考文献

- [1] 陈伟华. 电磁兼容实用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998. 8: 158-166, 253.
- [2] 全国无线电干扰标准化技术委员会, 全国电磁兼容标准化联合工作组, 中国实验室国家认可委员会. 电磁兼容标准实施指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 108-110, 430.
- [3] 郑兴因. 应用概率统计[M]. 陕西: 西安交通大学出版社, 1994. 8: 330-340.
- [4] GJB151A-97 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求[S]. 北京: 国防科学技术委员会, 1997.
- [5] 谭伟, 高本庆, 刘波. EMC 测试中的电流注入技术[J]. 安全与电磁兼容, 2003, (4): 19-22.
- 余志勇 (1972—), 男, 湖北人, 博士, 第二炮兵工程学院副教授, 中国电子学会电磁兼容分会高级会员, 从事电磁兼容与电磁环境效应、检测技术与自动化装置等技术领域的科研与教学工作。
- 刘洁瑜 (1970—), 女, 广东人, 博士, 第二炮兵工程学院副教授, 从事惯性仪表、精确制导、信号处理等相关技术领域的科研与教学工作。



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,一直致力和专注于微波、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>