

文章编号:1001-893X(2008)02-0052-05

多径效应对米波天线方向图影响分析*

孙绍国

(华东电子工程研究所,合肥 230031)

摘要:米波雷达在对抗现代隐身技术和 ARM 威胁等方面有其特有的优势,但多径效应使米波天线方向图发生畸变,严重影响其探测性能。针对多径效应对米波天线方向图性能影响进行了详细分析,给出了计算模型及仿真实例。最后,提出了改善多径影响的一些方法和途径。

关键词:隐身技术;多径效应;米波天线;方向图

中图分类号:TN820.1 **文献标识码:**A

Analysis of the Influence of Multipath Effect on Meter-wave Antenna Pattern

SUN Shao-guo

(East China Research Institute of Electronic Engineering, Hefei 230031, China)

Abstract: Meter-wave radar has its unique advantage against modern stealth technologies and ARM threat, but multipath effect makes the antenna pattern of meter-wave radar be distorted which seriously influences its detection performance. In this paper, this kind of influence is analyzed in detail, the corresponding calculation model and simulation instances are given. Finally, some methods and solution are proposed to reduce the influence of multipath effect.

Key words: stealth technology; multipath effect; meter-wave antenna; pattern

1 引言

现代战争中,雷达面临的是隐身技术、反辐射导弹、电子干扰和低空突防等的综合威胁环境,特别是隐身技术的发展及实用装备化,使微波雷达对隐身目标的发现距离仅为常规目标的 20%~50%,这对现代雷达提出了严峻的挑战。隐身技术是指采用外形设计、涂覆吸波涂层、采用高分子透波材料代替金属材料等综合措施,使目标对雷达电磁波的反射能量大大减小,从而减弱雷达的发现距离和概率的技术。而采用米波雷达,无论是形体隐身,还是涂覆隐身,电磁波的散射能量都很强,与常规雷达相比,反射能量要强数十至上千倍,因此,不失为一种简单有

效对付隐身的方法,特别是采用稀布阵综合脉冲孔径体制^[1,2]后,既具有米波雷达特点,又克服了米波雷达分辨力和抗干扰能力差的缺点。然而,由于地面、海面等多径效应的存在,对雷达天线方向图尤其是对米波天线影响严重,使波瓣产生大的畸变,大大影响其探测性能,特别是低空探测性能。因此准确分析多径效应对米波天线方向图性能影响,从而有效改善或减弱多径效应影响,对提高米波雷达探测性能和对抗隐身,具有非常重要的意义。

2 模型的建立与分析

考虑到地球曲率影响,电波传播可分为干涉区、中间区和绕射区 3 个区域,多径影响主要产生在干

* 收稿日期:2007-09-15; 修回日期:2007-12-25

涉区。架设在地面上的天线发射的电磁波传播的多径效应模型如图1所示。

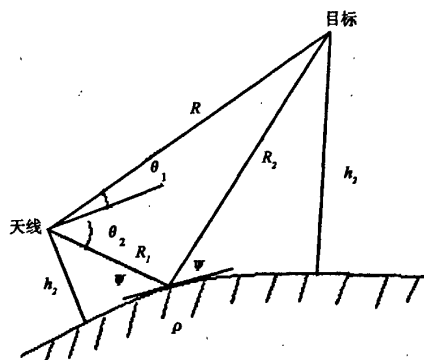


图1 电波传输的多径效应模型

图1的多径效应模型中,天线架设高度为 h_1 ,目标高度为 h_2 。天线发射电磁波直达目标路程为 R ,电磁波到达目标的反射路程为 $R_1 + R_2$ 。根据电磁波的传输路径,到达目标的总的天线传播因子 F 为^[3]

$$F = f(\theta_1) \times \sqrt{1 + X^2 + 2X\cos(\alpha)} \quad (1)$$

式(1)中各参变量的定义及描述如下:

$$X = \frac{\rho \times f(\theta_2)}{f(\theta_1)} = \frac{rD\rho_0 f(\theta_2)}{f(\theta_1)} \quad (2)$$

式中, ρ 为地面或海面反射系数幅值, r 为表面的粗糙度系数, D 为扩散因子, $f(\theta_1)$ 为天线直射波的方向图因子, $f(\theta_2)$ 为天线反射波的方向图因子。

相位差:

$$\alpha = \frac{2\pi\delta}{\lambda} + \phi + \beta_1 - \beta_2 \quad (3)$$

其中, ϕ 为表面反射引起的相位损失, β_1 、 β_2 分别为天线直射波和反射波的初始相位。

路径差:

$$\delta = R_1 + R_2 - R = \frac{2h_1h_2}{d} \times J(S, T) \quad (4)$$

其中, d 为天线到目标的水平距离; $J(S, T)$ 为考虑地球弯曲对路径差的修正因子,可由下述公式求得。为便于计算,引入中间变量 S_1 、 S_2 。

$$S = \frac{d}{\sqrt{2a_e} \sqrt{h_1 + h_2}} = \frac{(S_1 + S_2 T)}{1 + T} \quad (5)$$

其中

$$T = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \quad (6)$$

$$S_2 = \frac{\sqrt{(1 - S_1^2)^2 + 4S_1^2 T^2} + S_1^2 - 1}{2S_1 T} \quad (7)$$

式中, a_e 为地球等效半径,约为8 500 km。由式(5)、(6)、(7)可分别求得 S 、 T 、 S_1 、 S_2 参量。

则:

$$J(S, T) = (1 - S_1^2)(1 - S_2^2) \quad (8)$$

扩散因子

$$D = \left(1 + \frac{4S_1^2 S_2 T}{S(1 - S_1^2)(1 + T)}\right)^{(-0.5)} \quad (9)$$

对于粗糙度系数 r ,若粗糙表面的高度分布按高斯分布,则粗糙度系数为

$$r = \exp\left(-2\left(\frac{2\pi H \sin(\psi)}{\lambda}\right)^2\right) I_0\left(2\left(\frac{2\pi H \sin(\psi)}{\lambda}\right)^2\right) \quad (10)$$

式中, H 为高斯高度分布的标准偏差; I_0 为零阶变态贝塞尔函数; ψ 为天线电波的人射余角,考虑地球曲率因素修正后,由下式求得:

$$\tan(\psi) = \left(\frac{h_1 + h_2}{d}\right) \times \left(\frac{(1 - S_1^2) + T^2(1 - S_2^2)}{1 + T^2}\right) \quad (11)$$

根据文献[4],地物表面的反射系数对于垂直极化波为

$$\rho_v = \rho_{0v} e^{-j\phi_v} = \frac{\epsilon_c \sin(\psi) - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2(\psi)}}{\epsilon_c \sin(\psi) + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2(\psi)}} \quad (12)$$

对于水平极化波为

$$\rho_h = \rho_{0h} e^{-j\phi_h} = \frac{\sin(\psi) - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2(\psi)}}{\sin(\psi) + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2(\psi)}} \quad (13)$$

$\epsilon_c = \epsilon_1 - j60\lambda\sigma$ 为表面材料的复介电常数, σ 为它的电导率。对于干燥地面和海面, ϵ_1 分别为15和80,

σ 分别为 0.001 和 4.3。式(12)、(13)表明,水平极化电波表面反射系数大,幅值接近于 1,且随频率变化不敏感。相比于水平极化,垂直极化电波表面反射系数较小,随频率变化明显。图 2、图 3 中分别给出了不同频率垂直极化波海平面反射系数的幅相随入射余角的变化曲线。

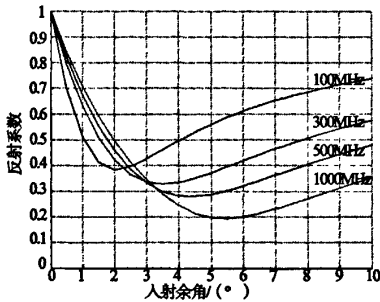


图 2 海平面反射系数幅度变化曲线

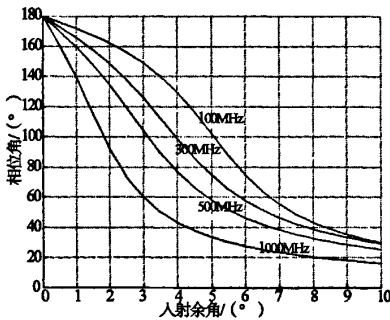


图 3 海平面反射系数相位变化曲线

将式(2)~(13)依次分别代入式(1)就可以得到考虑多径效应后的天线方向图因子。

3 计算实例

讨论多径效应对米波天线方向图的影响,应确定其主反射菲涅尔区的范围,根据主反射菲涅尔区的地物分布及起伏情况,可得到较准确的分析结果。主反射菲涅尔区的形状为近似椭圆,可用椭圆中心、长半轴和短半轴来定义其位置及覆盖范围。详细计算可参见文献[5]。图 4 给出米波天线架高 15 m、距离目标 200 km 低仰角的反射菲涅尔区长半轴范围。

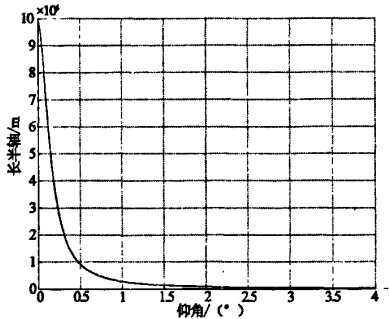
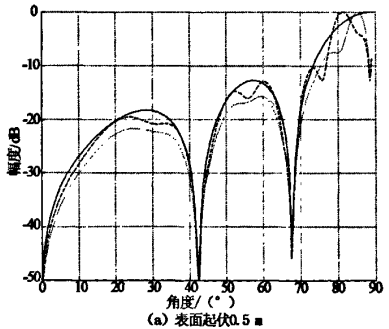
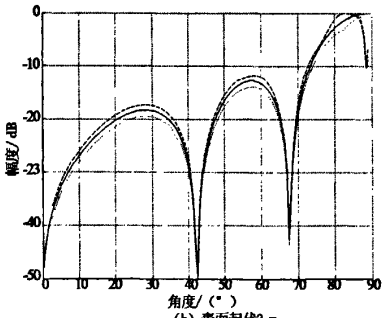


图 4 菲涅尔区长半轴相对于仰角的变化曲线

按照上述多径效应对天线方向图因子的影响分析,计算了米波天线单元(频率 200 MHz)架高不同,不同反射表面、不同起伏高度的多径效应影响下的方向图仿真曲线。图 5 (a)、(b)为天线架高 3 m 时干燥地面和海面不同起伏高度多径影响下天线方向图变化情况,图 6 (a)、(b)为天线架高 10 m 时干燥地面和海面不同起伏高度多径影响下天线方向图变化情况,图 7 (a)、(b)为天线架高 20 m 时干燥地面和海面不同起伏高度多径影响下天线方向图变化情况。图中实线为无多径影响的理想天线单元方向图,虚线为海平面多径影响后天线单元方向图,点画线为干燥地面多径影响后天线单元方向图。



(a) 表面起伏 0.5 m



(b) 表面起伏 3 m

图 5 天线架高 3 m 干燥地面和海面多径影响下的天线方向图

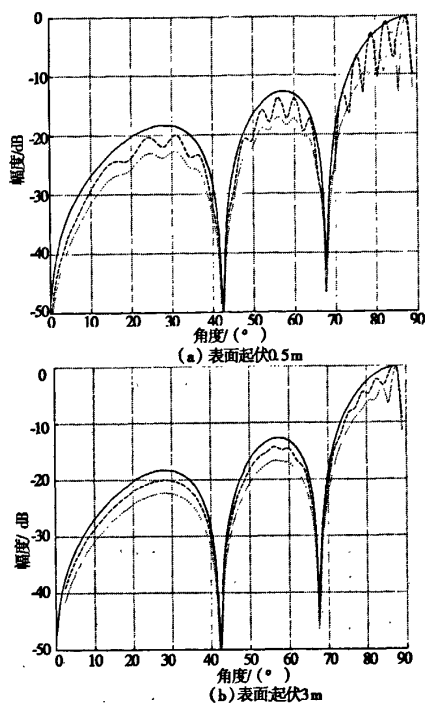


图6 天线架高10 m干燥地面和海面多径影响下的天线方向图

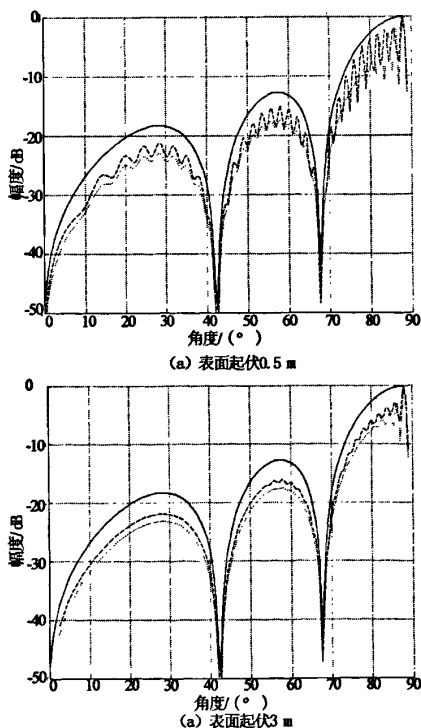


图7 天线架高20 m干燥地面和海面多径影响下的天线方向图

上述仿真结果表明,多径效应使天线波束上翘严重,对雷达低空探测性能影响很大。相同状态下,干燥地面多径反射比海面对天线方向图影响大。相同的反射表面,天线架设越高,多径效应影响越明显,使天线方向图分裂产生的花瓣越多越密。对于相同的天线架设高度,反射表面相对于波长越平滑,多径效应影响越严重,这也进一步说明,相对于其它微波雷达天线,多径反射对米波天线波束影响更大。由多径产生原因知,减弱天线电波打地能量,可明显改善多径影响。

4 改善途径

由上所述,对于米波雷达天线来说,反射引起的多径效应是十分明显的,对于减弱天线多径效应引起的天线方向图花瓣,结合国内外相关文献,主要有下述方法:

(1) 波瓣锐截止法

该方法是增大天线垂直方向口径,使垂直面波瓣尽量压窄,使打地电平尽量低,从而使反射波能量大大减小,使花瓣现象变弱。但对于低频雷达特别是米波雷达,天线垂直面口径会变得很大,增加天线的体积和重量,机动性能差。

(2) 架高天线法

将天线架设到一定高度可以减弱地面反射能量,从而减弱多径引起的天线方向图花瓣分裂。但对于米波雷达,为减弱多径效应所需的天线架设高度太高,影响天线的机动性。可考虑利用山坡架高。

(3) 频率分集法

该方法用宽频带的天线在两个相差33%宽的频率上同时工作,使两个频率天线的花瓣相互补充,达到改善天线花瓣的目的。

(4) 双天线双频段

用两副天线工作在两个频段,使地面多径引起的天线花瓣相互补充。但两副天线一方面增大了设备量使成本增加,另一方面,增加了系统的体积和重量,影响机动性。

(5) 斜视和波束对^[6]

该方法实质上是同时和波瓣法测角,只是要测角的两个波束根据实际需要设计成不同形状,利用两个波束幅度比值和目标偏轴的函数关系,得到目标的精确角度。

(6) 高度分集法

由于地面引起的花瓣与天线的架设高度密切相关,即在 $\theta = n\lambda/2h$ ($n=1,2,3\cdots$)处出现峰值,在 $\theta = (n+0.5)\lambda/2h$ ($n=1,2,3\cdots$)处出现近似为零的谷值。因此,将天线分成几个架高不同的子天线,利用子天线高度不同引起花瓣位置不同进行花瓣补偿,达到补盲效果。各子天线垂直面波瓣不能宽,上波束主瓣不能打地。当然,要做到完全互补,新增天线高度,应随 n 变化^[2]。

(7) 超分辨技术

是利用各种非线性处理方法从组合回波中得到低仰角目标的直达波和反射波角度的估值,从而达到角的判别就可去掉地面反射信号的影响。比较常用的是最大自然算法。

以上几种方法能比较有效地改善地面多径效应影响,归纳起来可分为3类:一类是设法防止多径信号进入天线,如波瓣锐截止法、架高天线法;第二类是设法消除多径信号的影响,如频率分集法、双天线双频段法、高度分集法、斜视和波束对;第三类是通过各种估值算法来设法估计出目标参数,如超分辨技术。可根据天线的具体工作要求选择,对于米波雷达,空间滤波法、频率分集法及超分辨技术应更适合一些。

5 结 论

米波雷达在对付隐身及 ARM 方面具有突出的优点,但相比于微波频段天线,多径效应对米波雷达天线的方向图影响更大,从而影响其探测精度。

本文基于米波天线,较详细地分析了多径效应对天线波瓣性能的影响,为对其影响进行针对性补偿提供理论依据。结合分析,给出了一些改善和补偿多径效应的方法。下一步应结合多径效应及地物杂波,对雷达威力覆盖及探测性能进行进一步研究,以期最大限度提高米波雷达的探测效能。

参考文献:

- [1] J Dorey, et al. RIAS, Radar a Impulsion et Antenna Synthesis [C]// Colloque international sur le radar. Paris, 1989; 556-562.
- [2] 保铮,张庆文. 一种新型的米波雷达-综合脉冲与孔径雷达[J]. 现代雷达,1995,17(1): 3-16.
- [3] Lamont V Blake. Machine plotting of Radio/Radar Vertical-plane Coverage[R]. Washington, D C; NAVAL RESEARCH LABORATORY, 1970; 3-5.
- [4] 谢处方,邱文杰. 天线原理与设计[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [5] 毛乃宏,俱新德. 天线测量手册[K]. 北京:国防工业出版社,1987.
- [6] 刁晨曦. 舰载相控阵雷达低角跟踪性能的改善途径[J]. 现代雷达,1994,16(1): 1-10.

作者简介:



孙绍国(1969-),男,山东人,高级工程师,曾获国防科技进步奖2项,主要研究领域:宽带阵列天线,微波网络,(电子邮箱)ssg3408@126.com。

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>