基于 GB-SAR 的地面军事目标伪装性能检测及评估方法

张新征1,黄培康2

(1. 重庆大学, 重庆 400044; 2. 中国航天科工集团科技委, 北京 100854)

摘要:为有效评估地面目标的伪装性能,提出了一种采用地基合成孔径雷达(Ground Based-Synthetic Aperture Radar, GB-SAR)模拟观测获取目标 SAR 信息的试验和伪装性能评估方法。该方法在分析伪装目标的 SAR 成像特性的基础上,采用地基机动平台上的 SAR 系统对地面伪装目标进行模拟卫星 SAR 观测几何的数据获取,在此基础上通过目标散射特性分析等实现伪装性能评估。首先分析了地基 SAR 系统模拟星载 SAR 侦察的必要性;其次,介绍了适用于模拟星载 SAR 观测的典型地基 SAR 系统组成。针对伪装性能评估,介绍了如何从目标特性的角度分析伪装效果的方法;并指出了该方法适用于多种雷达伪装设备的评估。

关键词: 地基合成孔径雷达(GB-SAR); 军事目标; 伪装; 目标特性; 性能评估

中图分类号: TJ765.5; TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2011)23-0141-05

Camouflage Performance Evaluation of Land Military Targets Based on GB-SAR

ZHANG Xin-zheng¹, HUANG Pei-kang²

(1. Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. The Science Committee of China Aerospace Science & Industry Corporation, Beijing 100854, China)

Abstract: A method of acquiring targets signatures and camouflage performance assessment using ground based synthetic aperture radar(GB-SAR) simulation observation was put forward for effective evaluation of the land military targets camouflage performance. The method was on the basis of targets SAR imaging characteristics analysis, according to simulating data acquisition of spaceborne SAR observation geometry, based on which camouflage performance assessment was realized through scattering characteristics analysis. The necessity of spaceborne SAR reconnaissance simulation utilizing GB-SAR system was analyzed. A typical GB-SAR system suitable for the simulation was introduced. The way to assess camouflage effect from the view of target characteristics was introduced. It was put forward that the method is appropriate for radar camouflage equipment evaluation.

Key words: ground-based synthetic aperture radar (GB-SAR); military target; camouflage; target characteristic; performance evaluation

随着高技术特别是信息技术广泛应用于国防科技的各个领域,战争形态和作战方式发生了重大变化。以合成孔径雷达(SAR)、光学、红外等为代表的先进传感器在战场感知和军事对抗中发挥着越来越大的作用,和光学、红外等其它传感器相比,SAR成像不受天气、光照等条件的限制,可对敏感目标进行全天候、全天时的侦察;此外,多波段、多极化、先进体制的 SAR 系统的出现,不仅可以灵活地全方位地实

现战场监视,而且可以实现伪装隐蔽目标探测、地面动目标指示等多种功能。随着航天航空技术的发展,多基 SAR、分布式小卫星 SAR、极化-干涉 SAR 等新一代 SAR 系统的出现,进一步提高了 SAR 对军事目标信息获取及探测识别的能力,从而对目标生存能力提出了严峻的挑战。对于武器发射平台、战略武器发射阵地、军事基地、军事工事等,如何提高其伪装性能继而提高反星载 SAR 侦察的能力是提高军事力量生

收稿日期: 2011-07-08

基金项目: 重庆市科委自然科学基金计划项目资助(cstcjjA40018);中国博士后基金项目资助(2011M501389)

作者简介: 张新征(1978-),男,山东聊城人,博士,重庆大学副教授,主要研究方向为目标特性分析及应用、遥感信息获取与处理、目标探测与识别等。

存能力的重要前提。为了有效地评估各种军事目标的伪装性能及效果,发展先进的伪装性能评估设备及试验方法及理论是非常必要的[1-3]。GB-SAR系统可以有效地模拟星载 SAR侦察各种军事目标获取的信息,从而为目标伪装性能效果评估提供有效的手段。

1 GB-SAR 系统模拟星载 SAR 侦察的必要性 分析

1.1 伪装技术的发展及科学评估的需要

不论是和平时期还是战争时期,军事目标或军事工事伪装是作战保障的重要内容。正确地实施伪装,不仅能隐蔽作战意图,达成作战行动的突然性;而且能降低敌方侦察装备的性能,从而减少己方人员、工事和装备的毁伤,提高部队的生存能力,争取战场的主动权,伪装性能评估是伪装技术的重要组成部分[1]。

伪装技术的发展是随着传感器技术发展而发展 的。SAR 成像技术的发展已经从获取目标的一维信 息发展到获取二维甚至更多维信息,随着 SAR 侦察 精度日益提高,日趋成熟的探测与识别技术使 SAR 侦察威胁愈来愈大。星载 SAR 对我军的战略、战术 目标构成了严重威胁,在星载 SAR 侦察情报的引导 下,高精度远程武器的精确打击可能使我军装备在战 争的开始就处于被动,因此对对抗星载 SAR 侦察的 伪装技术的研究十分重要。为了科学的评估目标伪 装后在星载 SAR 侦察图像中的特性信息及特征,需 要建立可靠有效的伪装工程和伪装装备的检测手段 和设备。进行伪装效果检验是保障伪装装备性能质 量和工程伪装效果的必要手段,是检验我军生存能力 的可靠保证。通过对方的侦察情报分析我方的目标 伪装效果,不仅难以获取真实的数据,而且费时费力, 代价高昂[1-2]。

1.2 国外先进 SAR 系统发展带来的挑战

美英等先进发达国家已经具有大量先进的多种平台的 SAR 侦察系统,有的 SAR 系统甚至是专门针对侦察伪装隐藏目标设计的。美国的"长曲棍球" (Lacrosse)卫星上的 SAR 可以获取 0.3 m 分辨率的图像;德国的 SAR-Lupe 卫星在聚束模式的分辨率为 0.5 m;加拿大的 Radarsat-2 卫星作为军民两用的卫星,其最高分辨率可以达到 1 m。由于电磁波在 UHF/VHF 等低频频段具有更强的穿透能力,国

外还大力研究了在该频段工作的 SAR 系统,例如美国密执安大学环境研究所(ERIM)开发的 NAWC P3-SAR(200~900 MHz),美国林肯实验室的 UHF SAR(200~400 MHz),瑞典国防研究局的 CARA-BAS SAR (20~90 MHz)等。2000 年《美国国防部技术领域计划》中,将探测被植被遮挡的目标和地下目标作为雷达发展的主要目标之一。美国国防高级研究计划局与各军兵种联合制定了"反伪装、反隐蔽、反欺骗"(CCCD)计划。美洛克希德·马丁公司也为无人机开发了战术侦察与反伪装雷达(TRACER),其实质是工作在低频频段上的合成孔径雷达系统[2]。

面对国外众多的先进 SAR 探测系统,我军伪装技术的发展需要满足对抗这些先进探测系统的要求,这也对我军伪装效果检测设备和伪装性能评估方法提出了更高的要求。

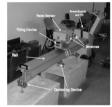
1.3 GB-SAR 对星载 SAR 信息获取模拟的有效性

SAR 是利用目标与背景对电磁波散射特性的不 同来实现在杂波中的目标探测及识别,只不过 SAR 获取的是目标的距离和方位二维散射特性信息。目 标在 SAR 图像中的特性信息和特征实际上取决于雷 达系统参数、目标自身属性以及观测几何等,不受雷 达工作平台与目标之间的距离的影响,这和光学成像 传感器有本质的不同,因此,完全可以由地基平台上 的 SAR 系统模拟实现星载 SAR 获取的目标信息, 其实现条件是保证地基 SAR 系统分辨率等参数和 观测几何与星载 SAR 一致,这样就可以灵活的模拟 实现目标伪装对抗星载 SAR 侦察的各种效果。例 如,可以通过调整地基 SAR 系统工作频段来比较目 标伪装在不同频段下的效果。GB-SAR 由于处于地 基平台上,其平台载荷不像星载或机载那样受很多 因素的限制,所以系统配置灵活,可以实现多频段、 多极化、多视角、干涉信息获取等多维信息获取能 力;另外,对于伪装目标的性能测试评估,通常需要 对观测视角等变化参数值进行多次测试,若采用机 载 SAR、星载 SAR 等进行外场试验,其高昂的费用 难以承受,而使用 GB-SAR 设备其外场试验费用相 对低很多。美国 ARL 为了研究 SAR 目标特性及探 测识别算法,专门研制了一种称为 BoomSAR 的 GB-SAR 系统。英国也为了对星载 SAR 观测性能进行 验证,研制了具有极化干涉测量功能的 GB-SAR 系 统。加拿大防御发展研究中心在地面目标特征控制 试验中也将 GB-SAR 作为一种重要的目标特征评估 检测设备[4]。

2 典型 GB-SAR 系统

2.1 GB-SAR 系统平台

和机载、星载 SAR 相比,GB-SAR 的特点是雷达系统位于地面的某种平台上,而 SAR 成像需要雷达与目标之间的相对运动以获取方位向上的高分辨率。常见的 GB-SAR 采用滑轨作为平台,天线在滑轨上滑动形成合成孔径效应,见图 1a;另外一种是拖车和牵引车形式,拖车由牵引车牵引运动形成合成孔径效应,见图 1b;还有一种形式是车载形式,即 SAR 系统放置在工程车里,天线放置在车顶上方,车沿道路的运动即可形成合成孔径效应,见图 1c^[5]。图 1b 中的天线平台高度可以灵活调整,因此这种形式的 GB-SAR 可以获取类似星载 SAR 观测俯视角下的目标特征数据。







a 滑轨式天线平台

b 拖车式天线平台

c 汽车式天线平台

图 1 GB-SAR 的 3 种平台形式 Fig. 1 Three kinds of platform modes of GB-SAR

2.2 典型 GB-SAR 系统组成

GB-SAR 系统可以灵活的实现,并根据实际需要进行配置。给出一个典型的 GB-SAR 系统组成,该系统包括一对收发天线、射频单元、中频单元、基带信号单元、频率综合单元、信号采集与存储单元、系统定时和控制单元、系统监视和人机交互单元等,其框图见图 2。

收发天线实现射频信号的发射和接收,其参数可以根据雷达方程及系统要求进行设计,大部分情况下可以选用商用成品天线,而不必重新研制设计。射频单元实现中频信号上变频到射频频段,以及将接收射频信号下变频到中频信号。射频单元一般放置在雷达工作平台的上端,如果雷达工作平台为工程车,则可以放置在工程车的顶部。基带信号产生单元产生具有一定带宽的线性调频信号,并送给中频单元,并对中频接收信号实现下变频到视频信号,并将视频信

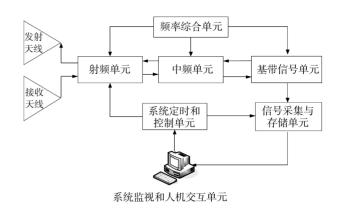


图 2 典型 GB-SAR 系统 Fig. 2 Typical GB-SAR system

号送到信号采集单元。频率综合单元产生全系统的稳定相干振荡信号,并分别产生中频参考信号和射频参考信号。信号采集单元对经过下变频得到的基带 SAR 回波信号进行数据采集;并实时存储以供后续进行 SAR 精细成像处理。系统定时和控制单元主要由微控制板和 FPGA 板等构成,其实现系统各时钟之间的时序关系。系统监视和人机交互单元由工控机和通讯接口卡等构成,实现系统工作状态的监测以及人机交互对系统参数进行设置等。系统的各种分机单元的参数需要根据系统总体参数进行详细设计,这里仅给出一个典型的 GB-SAR 主要参数,见表 1。

表 1 一个典型 GB-SAR 系统的主要参数

Tab. 1 Main parameters of a typical GB-SAR system

参数	参数值
工作频段	X波段
发射功率	33 dBm
波形	线性调频
脉冲宽度	5 μs
脉冲重复频率	600 Hz
信号带宽	200 MHz
A/D 采集	500 MHz,8 bit
动态范围	45 dB

如果需要 GB-SAR 具有多维多参数信息获取的能力,则需要对系统的各单元进行一些相应的配置。例如,需要实现 GB-InSAR 干涉成像,则需要再增加一个天线形成双天线干涉;需实现多极化 SAR 成像,则需要增加极化天线和在射频前端中增加极化开关等组件。

3 基于目标特性分析的伪装目标对抗 SAR 侦察效果评估

在未出现高分辨率雷达之前,对于具有相对低空 间分辨率的雷达,其分辨单元尺寸超出了探测目标的 大小,在这种情况下对目标的检测和分类主要是基于 目标雷达散射截面(Radar Cross Section, RCS)统计 特件或者加上一些极化特性。随着高分辨率成像雷 达的出现,诸如 SAR 这样的大带宽雷达能够获取反 映目标精细物理结构的高分辨率二维图像,这些高空 间分辨信息导致了雷达对目标检测和识别能力的显 著提高,因此,不同的雷达传感器,导致了不同的雷达 特征信号。雷达特征信号从早期的 RCS 分布图发展 到一维高分辨率距离像,随后又发展到二维、三维雷 达图像。为了分析伪装目标对抗星载 SAR 侦察效 果,就需要提出新的目标特征评估方法,而不能仅仅 限于为目标伪装前后 RCS 的分析,特别是需要针对 SAR 图像的特征评估方法。基于目标特性分析的伪 装效果评估进一步要求:将伪装层对目标全局 RCS 的影响分析发展到伪装层对目标上每个散射中心行 为的影响分析。

伪装网或伪装涂层在防止雷达检测和识别方面 的效果依赖于伪装层的属性,这些属性包括对电磁 波的吸收性和相对于目标特定散射属性的漫射特 性。众所周知,从几何绕射理论(GTD)为基础的高 频电磁散射机理上来说,目标自身的特定散射可以 近似地描述为多个单独散射体贡献的相干组合[6]。 对于一个给定的散射方位,这些单独的散射贡献对 应于目标上的某个局部部件(例如点、边缘等)。如 果伪装层改变了目标的全局散射,则目标全局 RCS 随角度和频率依赖的变化可以解释为伪装层改变了 目标中某些单个散射体的贡献。伪装层的贡献包含 了 2 个部分: 一部分是目标自身散射贡献的减缩; 另 一部分是伪装层自身产生的新贡献。这可以通过将 目标散射表示为不同类型几何绕射贡献的相干叠 加,并研究伪装层对目标上每个散射中心贡献的影 响来分析。在 GB-SAR 获取的目标 SAR 图像数据 的基础上,研究伪装层是如何改变目标上的每个散 射体的贡献,并研究伪装层自身散射产生了哪些新 的散射中心,实际上,SAR 成像处理过程即可完成 这一分析,分析的方法是比较目标伪装前和伪装后

的图像中的散射中心的类型和个数。SAR 成像的精细处理可以得到真实散射中心和虚假散射中心的空间分布。真实散射中心的位置和单独散射中心发生处的结构相对应,这些散射中心的参数可以较容易地通过信号处理方法估计得到;虚假散射中心表示了多次散射效应,其中包含了多种散射结构的贡献,而散射中心的位置实际上偏离了这些目标实际部件的位置。通过对目标的实际结构分析并采用一些信号处理方法,在虚假散射中心和多次散射效应参数之间的对应关系是可以找到的。

另一种分析是针对伪装层对电磁波的吸收效应和对电磁波的漫射效应开展的。目标伪装后散射特性的改变强烈依赖于伪装层的特有属性,即伪装层吸收入射电磁波的能力和增强散射能量角扩散的能力。由于这是测试伪装层本身的散射特性,一般采用光滑金属平板作为目标,分别测试未加伪装层和加伪装层的双站散射特性。通过分析伪装前后的散射场的幅度和空间变化,可以分别反演吸收散射和漫散射效应的贡献。文献[7]中的试验已经表明了上述基于目标特性的分析方法很适合用于多种伪装网、伪装涂层等伪装材料或设备的性能评估。

在对目标伪装前和伪装后的目标特性分析的基础上,还可以应用目标检测性能和目标识别性能进行伪装性能评估,综上,基于目标特性的伪装效果评估方法见图 3。

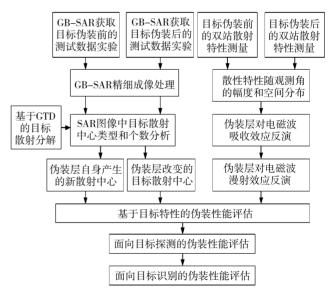


图 3 基于目标特性的伪装效果评估 Fig. 3 Camouflage effect evaluation based on target characteristics

4 结论

伪装评估技术是随着探测目标的传感器技术发展而发展的。面向目标伪装反机载/星载 SAR 侦察性能评估的需求,笔者提出了基于 GB-SAR 的地面目标伪装性能评估方法,分析了 GB-SAR 采用的几种平台形式,并给出了一种典型 GB-SAR 系统的组成;着重分析了基于目标特性的伪装评估方法,指出了该方法是一种具有普适性的适用于多种伪装设备的评估方法。

参考文献:

- [1] 李应岐,宋建社. SAR 成像技术与军事伪装对策研究 [J]. 电子对抗技术,1999,14(6):5-9.
- [2] 康青,姜双斌. 合成孔径雷达成像及工程伪装发展趋势

- [J]. 后勤工程学院学报,2008,24(4):87-91.
- [3] 郭宝华,马宏亮,陈兴刚.军品隐身防护包装材料应用研究[1]. 包装工程,2005,26(6):41-46.
- [4] http://web.archive.org/web/20070707093007/http://www.afit.edu/cmsr/.
- [5] ZHOU Z S, BOERNER V, SATO M. Development of a Ground-Based Polarimetric Broadband SAR System for Non-invasive Ground-truth Validation in Vegetation Monitoring, IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(9):1803—1810.
- [6] 黄培康,殷红成,许小剑. 雷达目标特性[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [7] CHRISTIAN I, MARC A J, UWE A, et al. Characterization of Target Camouflage Structures by Means of Different Microwave Imaging Procedures [J]. Proc of SPIE Radar Sensor Technology XIII, 2009, 7308, 19-1: 13.

(上接第116页)

美军已将一半以上的军事物流工作承包给了各地方物流企业。为了应对未来的信息化战争,亟需建立军民融合、协调发展的军事物流体系。具体做法是,依托军队自身技术力量,搞好物流系统顶层设计、建设规划以及指挥控制系统等涉密程度较高的项目建设工作;将军地通用物资、通用技术交由地方物流企业进行保障;建立顺畅高效的军地沟通协调机制,充分利用好地方物流资源。平时,准确掌握地方的物流资源,协调军地物流系统的运营;战时,实施快速物流动员,加快平战转换速度,用军民一体的"大物流"保障作战需要;借鉴跨国大型企业的先进物流理念,引进先进物流信息技术,采用先进物流成果,合作开发,"借梯上楼",努力推动现代物流建设实现跨越式发展。打破军地界限,将军事物流建设与地方物流建设

紧密结合,加快军地物资产品资源、生产能力资源、物流配送资源的融合,推行军地联储、联运、联供,不断扩大供应商直达配送范围,形成相互衔接、整体联动、优势互补的军事物流体系。

参考文献:

- [1] 尤培翔. 构建一体化军事物流系统[J]. 南开物流网.
- [2] 周林和. 积极推进我军现代军事物流体系建设[N]. 解放 军报,2009-03-19.
- [3] 杨建勇. 现代战争:信息化军事物流大变革[N]. 解放军报,2005-11-02.
- [4] 构建高效的军事物流体系. 中国交通技术网.
- [5] 军事物流插上"信息化"翅膀. 现代物流报.

(上接第121页)

参考文献:

- [1] 杨世铭,陶文铨.传热学[M]. 第 4 版.北京:高等教育出版社,2006.
- [2] 张正荣, 传热学[M], 北京: 高等教育出版社, 1982.
- [3] INCROPERA F P. De Wite D P Fundamentals of Heat and Mass Transfer[M]. 5thed John Wiley & Sons, 2002.
- 「4] 陶文铨. 传热学基础[M]. 北京:电力工业出版社,1981.
- [5] 威尔蒂 J R. 工程传热学[M]. 任泽霈,罗蒂庵,译. 北京: 人民教育出版社,1982.
- [6] 李明海,翟贵立,宋耀祖,等. 抗事故包装箱热防护结构的设计及其性能分析[J]. 包装工程,2000,21(2):5-8.