

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0013-04

脉冲外差探测 CO₂ 激光成像雷达折衍混合式 天线系统研究

王 骐, 刘丽萍

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 介绍了一种折衍混合式激光雷达天线系统的设计方法,完成了一套实用结构的设计和一套试验系统的制作,用试验系统在 CO₂ 激光雷达的光学系统中做了验证试验,并与原系统中使用的传统的透射式开普勒天线做了对比实验,实验结果证明试验系统基本达到了设计要求,从而验证了设计方案的可行性。此研究工作对于折衍混合光学系统的研究及应用具有一定的参考价值。

关键词 激光技术; 激光成像雷达; 天线; 衍射光学元件

中图分类号 TN958.98

文献标识码 A

Study on Hybrid Antenna System of CO₂ Laser Imaging Radar

WANG Qi, LIU Li-ping

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology,
Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract For meeting the requirement of miniaturization, low cost, and high image performance, a hybrid optical system composed of refractive optical elements and diffractive optical element is designed as the mode of the CO₂ laser image radar antenna system. An experiment antenna system is accomplished to verify the design scheme. The experiment result shows that the performance of the antenna system conforms to the design result.

Key words laser technique; laser image radar; antenna; diffractive optic element

1 引言

折衍混合光学系统是既含有传统的反射、折射光学元件,又含有衍射光学元件的新型光学系统。它同时利用了光在传播中的折射和衍射两种特性,具有独特的色散特性,良好的热性能及单色像差校正能力。在成像系统中采用折衍混合结构形式,不仅可以增加设计自由度,而且在改善系统像质,减小系统体积和降低系统成本等方面具有传统光学系统不可比拟的优势^[1,2]。

CO₂ 激光雷达光学天线系统是在波长为 10.6 μm 的中远红外波段使用的光学系统,在这一波段的光学透射材料不仅比重大,而且价格昂贵,尤其是大口径的材料难于获得。为了达到实际使用要求的小型

化和高功率下使用的要求,我们在雷达天线结构形式的选取上采用了折衍混合式的伽利略望远系统。按照使用要求设计了一个收发合置天线系统,作为发射系统,出射光瞳的有效口径为 100 mm,扩束比为 5 倍,采用像方扫描方式,扫描镜的最大扫描角是 ±5°。系统的结构如图 1 所示,整个系统只用了一片大口径的球面透射物镜,透镜直径为 130 mm;一片口径适中的球面透射目镜,透镜直径为 32 mm;和一片口径适中基底为平面的衍射光学元件,元件直径为 20.5 mm;系统的像质达到了衍射限。

为验证设计方案,我们制作了一套试验系统,用其代替原雷达系统中的传统的开普勒式透射天线,对从实验室可观测到的目标进行探测,其最远探测距离达到了由雷达距离方程所推出的最远距离量

作者简介: 王 骐(1942.3-),男,山东莱州市人,哈尔滨工业大学光电子技术研究所教授,博士生导师,主要从事激光光谱研究。E-mail:qiwang@hope.hit.edu.cn

级。其成像效果与原雷达系统中的开普勒天线相当。在 CO₂ 激光波段目前还没有可用的对于光学系统进行直接精密检测仪器的情况下,这种通过考察最大探测距离的检测方法不仅能够证明系统的成像质量,而且由于这种方法更接近实际应用,所以其实验结果的可靠性和可用性更强。

2 设计结果

折衍混合天线系统的设计方法已在另文中作过详细阐述^[9]。在此只给出设计结果。天线系统的基本结构如图 1 所示。筒长为 180 mm,透射材料选用 ZnSe,衍射元件的基底为平面,另一面为曲面。表 1 是系统的结构参数,表 2 是衍射光学元件的相位系数,由此可以计算衍射元件各环的半径。图 2 为天

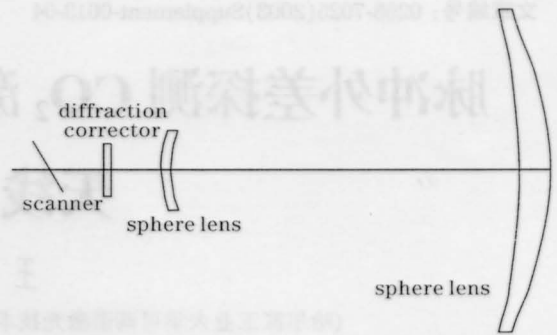


图 1 折衍混合天线系统的结构简图

Fig.1 Schema of the testing hybrid antenna

线系统的调制传递函数曲线,其中还分别给出了衍射限的调制传递函数曲线作为对比。图 2 中 S 表示沿弧矢方向, T 表示沿子午方向。

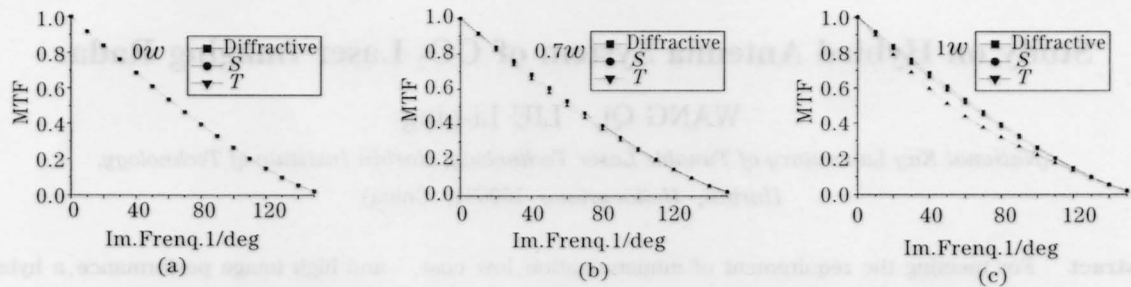


图 2 光学天线系统的调制传递函数曲线

Fig.2 Modulation transfer function of the optical antenna system

表 1 天线系统的结构参数

Table 1 Lens prescription date for antenna system

Surface	Radius /mm	Thickness /mm	Glass	Aperture /mm
1	-82.215	3.00	ZnSe	20.00
2*	infinite	20.1		20.39
3	62.8417	3.50	ZnSe	31.92
4	49.916	137.25		31.50
5	-282.504	12.00	ZnSe	128.62
6	-144.996			130.80

* 第 2 面为衍射面

表 2 衍射光学元件的相位系数

Table 2 Phase coefficients of binary element

A ₁	5.12823×10 ⁻⁶	A ₃	-2.37121×10 ⁻⁹
A ₂	-8.53853×10 ⁻⁷	A ₄	-2.05549×10 ⁻¹¹

3 实验结果

为了检测设计结果的可行性,制作了一个试验

系统,其出瞳有效口径为 50 mm,扩束比仍为 5 倍,衍射元件是使用金刚石车床车削制作的,系统制作完成后,用它与透射式开普勒型天线做类比实验。实验是在成像激光雷达的演示装置上完成的。图 3 是其光学系统的原理图。透射式开普勒型天线的结构由 6 片透镜组成,筒长 400 mm,出瞳有效口径为 100 mm,扩束比是 5 倍,像质达到了衍射限。此天线的性能经过实际使用验证,已经达到了使用要求。

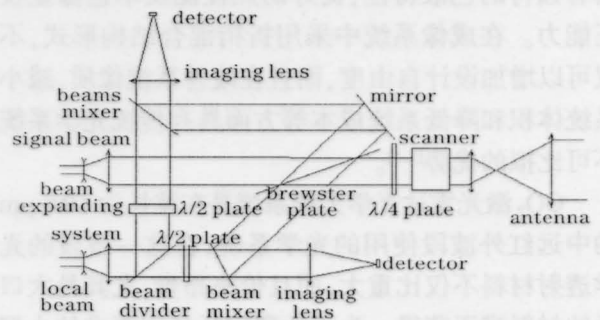


图 3 CO₂ 激光成像光学系统原理图

Fig.3 Schema of CO₂ laser image radar optical system

该光学系统是与开普勒天线配套使用的,由于开普勒天线的孔径光阑口径为 20 mm,而折衍混合天线系统的入口径只有 10 mm,所以光能的衍射损失达到 60%^[4]。另外,试验用折衍混合式天线的有效接收口径减小到开普勒型天线的 1/2,这致使天线接收能量减少了 75%,再者,探测器前的成像物镜口径与折衍混合天线系统的不匹配,使得爱里斑能量溢出探测器接受灵敏面,导致 44%的能量下降,所有的能量损失合计的结果是:折衍混合式天线系统的最大探测距离不大于开普勒型天线的 0.2 倍。按开普勒型天线的最大探测距离为 2.4 km 计算,则在目标反射特性相同的情况下,试验天线系统最远能探测到 480 m。

分别用折衍混合天线系统和开普勒天线系统对实验室可以观测到的目标进行了探测,450 m 远的“教化大厦”是一个与试验系统的最大可探测距离相近的目标。该目标的外形轮廓是一个转角处是圆弧形的建筑物,我们是对准其圆弧部分进行探测的,图 4 是用开普勒式天线探测到的图像,图 5 是用折衍混合天线系统探测到的图像,比较图 4,图 5 可以看出,开普勒式天线探测到的图像对比度强,轮廓明晰细锐,而折衍混合天线系统探测到的图像对比度减弱,轮廓变宽,主要是由于两者接收能量差别较大造成的(约为 100 比 4),当接收信号较强时,探测系统的信噪比较大,对弱信号的压制作用较强,而当探测到的能量降低时,信噪比也降低,对弱信号的压制减弱,图像的清晰度较差。尽管从图上看,图 4 的成像效果更清晰,但是,图 5 的成像范围更大一些,这是由于两种探测系统的孔径光阑口径不同,其发射激光的衍射效果不同所致。

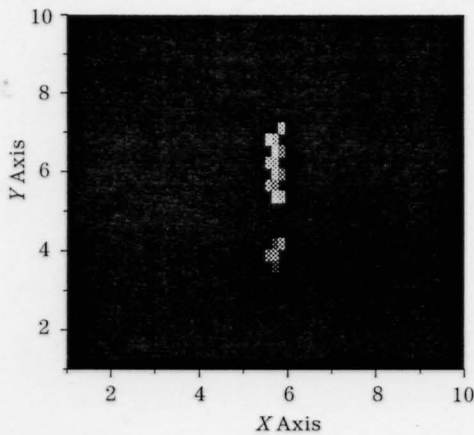


图 4 用开普勒式天线系统探测到的教化大厦图像
Fig.4 Jiaohua image detected by the Keplerian antenna

另外,还对 220 m 远的“哈特”大楼进行了探测,图 6 是用开普勒天线的探测结果,图 7 是用折

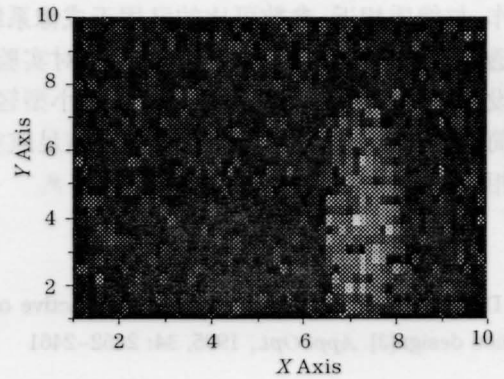


图 5 用折衍混合天线系统探测到的教化大厦图像
Fig.5 Jiaohua image detected by the hybrid antenna

衍混合式天线的探测结果,尽管由于大气扰动,仪器调校不准,和激光器能量不稳等因素的影响,两图中的图像不很清晰,但其对比效果仍比较清楚,两图像的边缘也比较清晰,轮廓相近,说明其成像质量相近。

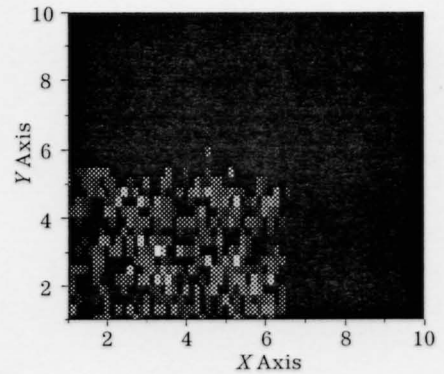


图 6 用开普勒式天线系统探测到的哈特大楼图像
Fig.6 Harte image detected by the Keplerian antenna

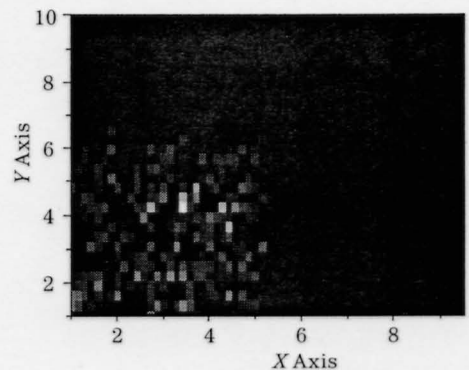


图 7 用折衍混合天线系统探测到哈特大楼图像
Fig.7 Harte image detected by the hybrid antenna

4 结 论

按照使用要求,设计了折衍混合式 CO₂ 激光成像雷达的收发合置天线系统,并且完成了试验系统

