

文章编号:1007-2780(2009)01-0126-04

主动成像系统中大气后向散射的分析和处理

杨玉兰^{1,2}, 孙金霞¹, 付国柱¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130031, E-mail:yylyang@126.com;
2. 北方彩晶集团有限公司, 吉林 长春 130033)

摘 要: 利用大气后向散射几何模型,推导出后向散射的累积效应的近似表达式。计算结果表明,50 m 范围内的后向散射光占光学系统可接收到后向散射光通量的 80%。针对近距离后向散射光的上述特点,提出了采用双通道光学接收系统处理后向散射光的方法。软件模拟结果证明,该方法具有较好的后向散射光抑制效果,系统结构设计简单、容易实现。

关 键 词: 主动成像; 后向散射; 分析和处理
中图分类号: TN2 **文献标识码:** A

1 引 言

现代成像系统根据有无照明光源可以分为主动式和被动式两种。被动成像系统,如微光和热红外成像系统,虽然具有隐蔽性好的优点,但系统的有效作用距离会受到天空背景照度、气象条件和目标温度对比度等条件的限制。主动式激光照明成像系统则克服了被动成像系统的上述缺点,广泛地应用在全天候探测和识别目标中。相对于被动探测系统,虽然主动式结构的成像质量有了明显的提高,但在恶劣的天气环境中,系统的成像质量和有效作用距离也会受到相干光照射引起的斑纹噪声和大气后向散射等诸多因素的影响。

影响主动成像系统性能的主要因素有:

- (1)长斜路径上的大气湍流^[1]使图像产生的畸变和非等晕效应;
- (2)回波信号的相干干涉使图像产生斑纹状的强度分布;
- (3)照明光束中被大气散射并后向传输到探测器的杂光降低图像的对比度。

探测系统所能够接收到的光强同作用距离的平方成反比,虽然增大照明光强可以明显提高系统的作用距离,但同时被大气粒子后向散射并进入探测系统的杂光也会随之增强,其累积效果甚至会淹没物体的回波信号。为了克服大气湍流、

斑纹噪声和后向散射杂光对成像质量的影响,人们做了许多方面的研究^[3-5]。例如,能够较好地克服大气湍流所引入的畸变和斑纹噪声影响的事后图像处理算法;能够降低斑纹噪声对主动成像系统影响的多光束照明器;可以有效抑制大气粒子后向散射影响的距离选通技术等。

大气中传输的光束会因气体的吸收和散射作用而造成一定的衰减,所以在主动成像系统中通常选择大气穿透能力较强的近红外光作为照明光源。进入成像系统的大气粒子的辐射或散射光在像面上会形成弥散斑,这些杂光不仅会使目标在像面上所形成的艾利斑的旁瓣有所扩展,而且旁瓣所含的能量也相应增加,原艾利斑的环形结构逐渐消失。旁瓣的扩展降低了系统的分辨力,能量的增加也使得成像对比度下降,而且多次散射的多路径效应也会对主动成像系统的分辨力造成一定的影响。所以,合理估计大气后向散射的累积效应,对于主动成像系统的设计具有重要意义。

目前,抑制后向散射光的最有效方法是距离选通技术。距离选通成像系统中的关键是同步控制技术,需提前测算激光器与目标的距离,方能准确计算脉冲延迟时间和选通门宽进行同步控制。但在实际应用中,很可能因没有测距仪而不能对目标距离进行准确测定。

本文针对近距离后向散射光的特点,提出了

采用双通道光学接收系统处理后向散射光的方法。可在不知目标距离的情况下进行快速主动照明成像探测,具有设计简单、成像快速且容易实现的优点。

2 大气后向散射的几何模型

通常认为,粒子间的距离 3 倍于粒子直径即足以满足独立散射的假设。在大气中,气体分子之间的距离以及气溶胶粒子之间的距离都大幅超过了 3 倍粒子直径,因此,对大气中光的传播而言,独立散射假设是适用的。在可见光和红外光波段,分子的散射作用很小。所以,本文仅计算单次大气微粒散射在探测器上的累积效应。

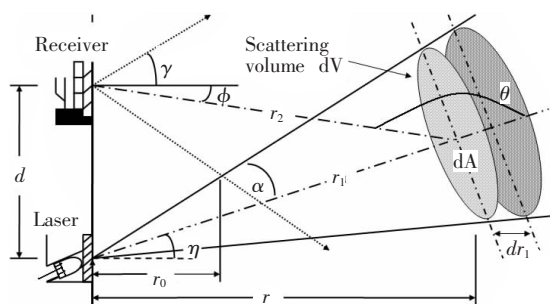


图 1 主动成像系统几何模型

Fig. 1 Geometrical model of active imaging system

建立如图 1 所示的主动成像系统几何模型^[2]。在垂直于照明光束的方向上取散射截面, 设照明光束半宽度 α , 接收系统半视场角 γ 、面积为 A_D 。照明系统和接收系统间距为 d , 二者与水平方向的夹角分别为 η, ϕ , 照明光束与接收视场交叠位置开始于 r_0 。激光器的出射光通量记为 φ_0 , a 为大气吸收系数, $\beta(\theta)$ 为体散射系数, 则空间某位置 γ 处面元 ΔA 上的光通量为:

$$\varphi_1 = \varphi_0 e^{-ar_1} \quad (1)$$

面元 ΔA 对应的体元的散射光强为:

$$dI(\theta) = \beta(\theta) \frac{\varphi_1}{\Delta A} \Delta A dr_1 = \beta(\theta) \varphi_0 e^{-ar_1} dr_1 \quad (2)$$

经体元(ΔQ)的散射能够进入接收系统的光通量为:

$$d\varphi = dI(\theta)\Delta\Omega e^{-ar_2} = \beta(\theta)\varphi_0 e^{-a(r_1+r_2)}\Delta\Omega dr_1 \quad (3)$$

因为：

$$\Delta\Omega = \frac{A_D \cos\phi}{r_2^2}$$

$$r_1 = \frac{r}{\cos \eta}$$

$$r_2 = \frac{r}{\cos\phi}$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{d}{r} - \operatorname{tg} \eta$$

$$\sin(\pi - \theta) = \frac{d \cos \eta \cos \phi}{r}$$

其中: r_1 为激光器到面元的距离, r_2 为接收器到面元的距离。

所以,探测器所接收的大气后向散射的总量可表示为:

$$\varphi = \varphi_0 A_D \cos \eta \int_{r_0}^R \frac{\beta(\theta) \cos^3 \phi e^{-a(r_1+r_2)}}{r^2} dr \quad (4)$$

代入化简后得到:

$$\varphi = \varphi_0 A_D \cos \eta \int_{r_0}^R \frac{\beta(\theta) r e^{-ar \left(1 + \frac{\sqrt{r^2 + d^2}}{r}\right)}}{(r^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} dr \quad (5)$$

由于 $d \ll r$, 将 $\beta(\theta)$ 近似看作常数, 可以进一步化简得到:

$$\varphi = \varphi_0 A_D \beta \cos \eta \int_{r_0}^R \frac{e^{-2ar}}{r^2} dr \quad (6)$$

设 $\delta = \int_{r_0}^R \frac{e^{-2ar}}{r^2} dr$, 则:

$$\varphi = \varphi_0 A_D \beta \cos \eta \delta \quad (7)$$

现取目标位于 $R=1\text{ km}$ 处, 大气吸收系数 $a=0.82/\text{km}$, δ 的计算结果如表 1 所示。

表 1 δ 计算结果表Table1 Calculated results of δ

$r_{\odot}(\text{km})-R(\text{km})$	δ
0.001-1	988.7274
0.005-1	191.3615
0.01-1	91.2729
0.05-1	14.4134
0.1-1	5.7045

从表 1 可以看到, 50 m 范围内的后向散射光约占能够进入探测系统的总后向散射光通量的 80%, 因而尽力避免这一范围内的散射光进入接收系统, 将有利于改善主动照明成像系统的成像质量。

3 双通道光学接收结构模型

为了达到克服近距离大气后向散射光的目

的,我们在实际望远物镜前加入如图 2 所示的分光路结构^[6,7]。该结构由 4 块倾斜的平面反射镜组成,每 2 块反射镜组成 1 个光路通道。对称式的结构使 2 个通道具有相同的观察视场,位于观察视场交叠区域的物体分别经 2 个通道的传输后在像面上形成 2 个像。由于 2 个通道共用同一望远物镜和探测器结构,这样就人为地将探测器分为 2 部分,交叠视场之外的物体只能够在探测器某一范围之内成单一的像。

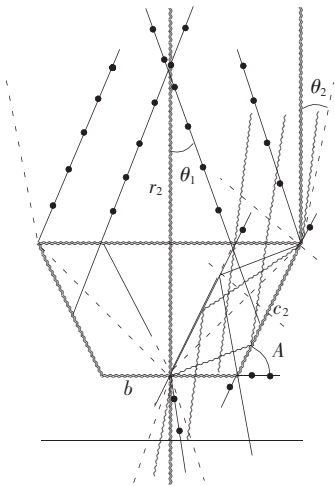


图 2 双通道接收结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the double passage optical receiver

以右通道来看,设能够进入通道并经二次反射后在像面成像的左右边缘光线同竖直方向的夹角分别为 θ_1 、 θ_2 。两平行放置的平面反射镜倾角为 A ,大小分别为 a 、 b ,且二者的水平间距为 c 。最终可以得到如下的关系式:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2}-A+\theta_1\right)=\frac{c \sin A}{2 a} \quad(8)$$

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2}-A-\theta_2\right)=\frac{c \sin A}{2 b} \quad(9)$$

根据主动成像系统对于视场 θ_1 、 θ_2 的要求,就可以得到双通道结构的具体参数 a 、 b 、 c 和 A 值。

该双通道结构同激光器所组成的主动成像系统,从整体上来看实际是 2 个常规的主动成像系统的组合,但通道结构同光源的空间位置不同使得大气后向散射光对像面上 2 个目标像的影响也不同。此外,目标在像面上所成的双像,更有利于提取目标的各种信息。如图 3 所示,利用光学设计软件模拟出该双通道接收系统设计图。

利用电脑模拟双通道望远物镜接收系统^[8],并且利用多重结构模拟大气后向散射光,获得最终模拟几何像成像效果(图 4)。图 5 为没有进行双通道设计的一般望远物镜接收系统的模拟成像

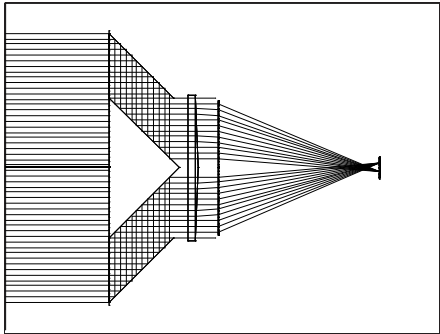


图 3 双通道望远物镜结构

Fig. 3 Structure of the double passages teleobjective

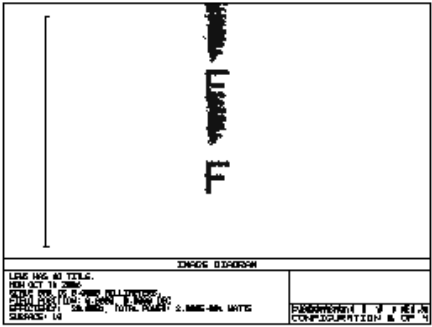


图 4 双通道望远物镜几何模拟像

Fig. 4 Simulated geometrical image of the double passage teleobjective



图 5 普通望远物镜几何模拟像

Fig. 5 Simulated geometrical image of the common teleobjective

质量。经过对比可以看到,双通道望远物镜得到的几何像质量要好于没有双通道望远物镜(即一般望远物镜)所得到的几何像。

4 结 论

通过对大气后向散射的累计计算,认为减少近距离后向散射光可大幅提高激光主动成像的成

像质量。利用光学设计软件,对双通道接收系统及其大气后向散射光的几何像进行了模拟,证实双通道接收系统的设计可以大幅降低后向散射的影响,提高激光主动成像系统的成像质量。

参 考 文 献:

[1] Heba Yuksel, Walid Atia, Christopher C D. A geometrical optics approach for modeling atmospheric turbulence [J]. *Proc. of SPIE*, 2005, 5891:589109(1-12).

[2] 王智,贾书洪,张晓辉,等. 激光主动成像图像的多帧后处理算法研究 [J]. *光学精密工程*, 2007, 15(4):615-619.

[3] 郝贤鹏,任建岳. TDICCD 相机的低噪声视频处理技术 [J]. *光学精密工程*, 2008, 16(10):1869-1873.

[4] 韩昌元. 高分辨力空间相机的光学系统研究 [J]. *光学精密工程*, 2008, 16(11):2164-2172.

[5] 张葆,洪永丰,史光辉. 非均匀性校正红外杂散辐射抑制中的应用 [J]. *光学精密工程*, 2008, 16(12):2421-2429.

[6] Bogaturov A N, Dainty J C, Golembeoyskii Yu V, *et al.* Double passage imaging of an arbitrary object through turbulence experimental result, Russian Academy of Sciences [J]. *SPIE*, 2471: 311-315.

[7] Spiveyand B, Smith A. Description and simulation of an active imaging technique utilizing two speckle fields; root reconstructors [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2002, 19:444-457

[8] 杨皓明,王灵杰,冯秀恒. 一种新型复合摄像物镜的设计 [J]. *光学精密工程*, 2007, 15(4):486-491.

Analysis and Treatment in Atmosphere
Back-Scattering of Active Imaging System

YANG Yu-lan^{1,2}, SUN Jin-xia¹, FU Guo-zhu¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130031, China, E-mail: ylyyang@126.com
2. North Caijing Group Co. Ltd., Changchun 130033, China)

Abstract

According to geometry model of the atmosphere back-scattering, an approximately expression of atmosphere back-scattering accumulative effect was deduced in this paper. The result showed that 80% of the backscattered flux of the receiver come from those particles inner 50 m away from the receiver. Then, a new method of dealing with the backscattered light was presented by using a double passage optical receiver. The simulation result proved its good effects in improving image quality. The construction of the double passage receiver was simple and it can be easily realized.

Key words: active imaging; atmosphere back-scattering; analysis and treatment

作者简介:杨玉兰(1974—),女,天津人,工程师,硕士研究生,主要从事激光主动照明成像系统研究。