

DOI:10.16136/j.joel.2022.03.0395

基于偏振紫外光单次散射的非视距目标定位方法研究

李春艳*, 罗 豆, 李庚鹏, 乔 琳, 汤 琦

(西安邮电大学 电子工程学院, 陕西 西安 710121)

摘要: 本文从紫外光通信技术的发展趋势及研究背景出发, 针对特定环境下实现目标定位的应用需求, 结合偏振光的振动特性, 提出了基于偏振紫外光单次散射实现非视距目标定位的方法。首先, 基于紫外光大气散射传输特性, 建立了偏振紫外光非视距单次散射模型, 利用矩阵光学的方法推导了紫外光偏振散射传输特性, 建立了接收光强与方位角及收发距离之间的关系。其次, 利用 Matlab 软件仿真并分析了收发仰角及视场角对接收光强及方位角测量范围的影响, 选取了合适的收发仰角及视场角。根据接收信号光强随方位角的变化获得目标方位角, 并通过解算得出收发距离, 理论上验证了系统可行性, 并对各误差影响进行了仿真分析, 在距离 500 m, 收发仰角偏离(预设值 25°) 3° 时, 距离测量误差为 25.3 m。噪声对光强的影响导致方位角判定误差对测距误差的影响较小, 但方位角判定误差为 3° 时, 会引起距离 500 m 时真实位置横向偏离误差 26.2 m。本文研究结果为拓展紫外光通信系统的功能及实际应用提供了理论基础, 有一定的指导意义。

关键词: 紫外光; 偏振; 光通信; 单次散射; 非视距; 测距定位

中图分类号: TN23 文献标识码: A 文章编号: 1005-0086(2022)03-0296-09

Research on non-line-of-sight target location method based on single scattering of polarized ultraviolet light

LI Chunyan*, LUO Dou, LI Gengpeng, QIAO Lin, TANG Qi

(School of Electronics Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an, Shaanxi 710121, China)

Abstract: This paper starts from the development trend and research background of ultraviolet (UV) optical communication technology, for the application requirements of target localization in specific environments, a method based on single scattering of polarized ultraviolet light to achieve non-line-of-sight target localization is proposed by combining the vibration direction characteristics of polarized light. Firstly, based on the UV atmospheric scattering transmission characteristics, a polarized UV non-line-of-sight single scattering model is established, and the polarization scattering propagation characteristics of ultraviolet light is derived by the method of matrix optics. The relationship between the received light intensity and azimuth angle and distance between transmitter and receiver is established. Then, the Matlab software is used to simulate and analyze the effect of transmitter and receiver elevation angle and field of view angle on the received light intensity and azimuth angle measurement range, and the suitable transmitter and receiver elevation angle and field of view angle are selected. The azimuth angle of the target is obtained according to the change of the light intensity of the received signal with the azimuth, and the distance between transmitter and receiver is calculated. In theory, the feasibility of the system is verified, and the simulations and analyses of each error influence are carried out. At a distance of 500 m, the dis-

* E-mail: yanerlcy@163.com

收稿日期: 2021-06-08 修订日期: 2021-07-25

基金项目: 国家自然科学基金(61805199)、陕西省自然科学基金项目(2022JM-387), 陕西省教育厅专项科研计划项目(20JK0908)和西安邮电大学研究生创新基金项目(CXJLZ202002)资助项目

tance measurement error is 25.3 m when the transmitter and receiver elevation angle deviates 3° (preset value 25°). The influence of noise on the light intensity leads to the azimuth angle determination error to have a small effect on the ranging error, but the azimuth angle determination error of 3° can cause a lateral deviation error of 26.2 m from the true position at a distance of 500 m, thus improvement measures are proposed. The results of this paper provide a theoretical basis for expanding the functions and practical applications of UV optical communication systems and have certain guiding significance.

Key words: ultraviolet; polarization; optical communication; single scattering; non-line-of-sight; ranging and positioning

1 引言

紫外光通信利用臭氧对其有强烈吸收作用的200—280 nm之间的“日盲”紫外光作为工作波段,利用大气微粒对光的散射作用实现信息传输^[1-3],在无线电静默、局域保密通信或复杂电磁环境下,具有抗干扰力强、保密性能好和可非视距(non-line-of-sight, NLOS)通信等技术优势,能够有效弥补有线及无线通信的缺陷^[4,5],因此紫外光通信作为一种局域军事保密通信的手段,或特定条件下作为其他通信手段的一种补充,对未来战争、现代国防具有特殊的使用价值和实际意义^[6,7]。而在复杂作战环境下,单兵出现无法实现有效信息传递等突发情况时,目标距离的确定、方位信息的获取能够为装备传递、物资供给、能源补充、伤员施救等作战事件的实施提供一定的基础,因此需要研究基于紫外光散射传输的目标定位方法,作为应对未知战况的一种备用补偿手段。赵太飞等^[8]提出了四节点定位算法,通过紫外光接收功率表达式计算某一未知节点与3个已知节点之间的距离关系来确定未知节点的位置坐标。YASIR等^[9]提出了采用多个光接收机定位技术实现对移动接收机位置高精度计算跟踪的方法。NAZ等^[10]使用了高精度的室内定位算法,利用发射信号的频率和可变相位,能够在信号通过光信道时解算出具有毫米定位误差的目标位置。BERGEN等^[11]提出了室内使用光接收机对两个光学信标(光发射器)进行三角测量,通过光接收机携带的镜头和图像传感器对之间的三角关系及方位角进行精确估计以判断光接收机的位置,并设计和优化能获取精确位置估计的光接收机。文献^[8]提出的定位方法具有NLOS和抗干扰的优点,在实际定位时需要知道除未知节点之外的3个节点的位置坐标。文献^[9-11]提出的定位方法适用于室内的近距离定位,定位精度高且误差小。综上,目前局域通信领域较多采用组网多点坐标相互解算确定距离及方位角度信息的方式实现目标定位。针对上述定位方法中硬件设备较多

或只适用于室内的局限性,本文提出基于偏振紫外光散射的NLOS目标定位方法。该定位方法减少了硬件部署,提升了定位距离及范围,有效提升了单位作战时的定位效率。

光信号在传输时其偏振效应含有独特的振动方向所携带的角度信息,且在远距离直线传播过程中偏振特性保持不变,同时白天背景光多为非偏振的自然光,利用偏振紫外光可以进一步解决加入滤光片之后仍存在的白天自然背景光的干扰,紫外光通信利用大气粒子对光的散射作用实现信号传输,偏振效应也是紫外散射光的一个重要特性。因此本文通过建立偏振紫外光NLOS单次散射模型来分析紫外光在大气中传输时的偏振散射特性。根据接收信号光强与目标距离及方位角之间的关系,结合光强随方位角的变化规律,对距离及方位角度信息进行解算完成目标定位。并运用Matlab软件仿真分析了各误差因素对目标定位的影响,在特定条件下得出了参考使用范围。

2 偏振紫外光大气散射传输理论

在紫外光传输过程中,光子除了被大气吸收还要受到粒子单次和多次的散射作用,但是近距离传输时单次散射占据传输过程中的大部分能量。赵太飞等^[12]基于蒙特卡罗模拟方法分别对3种NLOS散射方式的单次散射和多次散射路径损耗进行研究,均得到近距离多次散射和单次散射的路径损耗基本一致。因此本文通过建立偏振紫外光单次散射传输模型,研究NLOS目标定位方法。

2.1 偏振紫外光单次散射模型

NLOS偏振紫外光单次散射模型如图1所示, T_x 为被测目标,作为发射端发出振动方向在 xoz 竖直平面内且和光束传播方向垂直的线偏振紫外光,传输至大气中发生散射。 R_x 为任意位置处的接收端,其检偏器检偏方向与接收光轴垂直。本文定位方法中设定定位距离为 T_x 和 R_x 之间的直线距离 R ,设定接收端光轴在地面投影方向上的某一物体 F 为参考物。转动接收系统,设定接收光轴从参考物方

端路径上辐射强度的变化进行分析,并结合上一节理论推导出接收偏振光强与各因素之间的关系表达式。

3.1 单次散射模型的光辐射强度分析

NLOS 紫外光单次散射模型的路径可以看成由 2 条直视散射路径组成。设从发射端发出的紫外光辐射强度为 I_t , 假定光子在发散角 Ψ_T 的锥体内均匀分布, 发射光锥所对应的立体角为 $\Omega_T = 2\pi\left[1 - \cos\left(\frac{\Psi_T}{2}\right)\right]$ 。光子从发射端到散射点 S 传播 R_1 的距离, 从散射点 S 到接收端传播 R_2 的距离, 因此 S 点可以被看作二次散射光源, 则接收端面积微元上接收到的辐射强度为:

$$\delta I_r = \frac{I_t K_s A_r P(\theta) \cos \zeta \exp[-K_e(R_1 + R_2)]}{4\pi\Omega_T R_1^2 R_2^2} \delta V, \quad (7)$$

式中, K_e 为消光系数, 其等于散射系数 K_s 和吸收系数 K_a 之和, $P(\theta)$ 为散射相函数, A_r 为接收孔径面积, ζ 为散射点 S 与发射端的连线偏离发射端光轴 C_t 的角度。

图 1 所示单次散射模型中, 收发光轴非共面情况下有效散射体体积较小, 因此散射点 S 与发射端的连线偏离发射光轴 C_t 的角度较小^[16], 设 $\zeta = 0$, 则 $\cos \zeta = 1$ 。

则接收端接收到的光辐射强度为:

$$\begin{aligned} & \left[\left[\left(\frac{3}{4K_s} K_s^r (1 + \cos^2 \theta_s) + \frac{1}{K_s} K_s^m F_{11} \right) + \left(-\frac{3}{4K_s} K_s^r \sin^2 \theta_s + \frac{1}{K_s} K_s^m F_{12} \right) (\cos(2\varphi_{PS} + 2\theta_T)) \right] + \right. \\ & \left[\cos 2\theta_R (\cos 2\varphi_{SA} \left(-\frac{3}{4K_s} K_s^r \sin^2 \theta_s + \frac{1}{K_s} K_s^m F_{12} \right) + \left(\frac{3}{4K_s} K_s^r (1 + \cos^2 \theta_s) + \frac{1}{K_s} K_s^m F_{12} \right) (\cos 2\varphi_{PS} + 2\theta_T)) \right) - \\ & \left. \left(\sin 2\varphi_{SA} \left(\left(\frac{3}{2K_s} K_s^r \cos \theta_s + \frac{1}{K_s} K_s^m F_{33} \right) (\sin(2\varphi_{PS} + 2\theta_T)) \right) \right) \right] + \\ & \left[\sin 2\theta_R \left(\sin 2\varphi_{SA} \left(-\frac{3}{4K_s} K_s^r \sin^2 \theta_s + \frac{1}{K_s} K_s^m F_{12} \right) + \left(\frac{3}{4K_s} K_s^r (1 + \cos^2 \theta_s) + \frac{1}{K_s} K_s^m F_{12} \right) \times \right. \right. \\ & \left. \left. (\cos 2\varphi_{PS} + 2\theta_T) \right) + \left(\cos 2\varphi_{SA} \left(\left(\frac{3}{2K_s} K_s^r \cos \theta_s + \frac{1}{K_s} K_s^m F_{33} \right) (\sin(2\varphi_{PS} + 2\theta_T)) \right) \right) \right] \right], \quad (11) \end{aligned}$$

式中, F_{11}, F_{12}, F_{33} 为 Mie 散射矩阵参量。

4 仿真结果及分析

4.1 仿真参数设置

基于 1、2 节理论, 仿 3 真系统模型中各参数对定位的影响, 系统主要仿真参数如表 1 所示, 其中设定绝对海拔为 0, 无气溶胶时, 利用瑞利散射理论获得瑞利散射系数和消光系数分别为 $K_s^r = 0.32 \times 10^{-3} /$

$$I_r = \frac{I_t K_s A_r P(\theta) \exp[-K_e(R_1 + R_2)]}{4\pi\Omega_T R_1^2 R_2^2} V, \quad (8)$$

结合式(5)和式(8), 接收端的 Stokes 矢量为:

$$\mathbf{S} = \frac{I_t A_r \exp[-K_e(R_1 + R_2)]}{4\pi\Omega_T R_1^2 R_2^2} \mathbf{V} \mathbf{S}_3, \quad (9)$$

式中, $\mathbf{S}_3$ 为光子到达接收端的 Stokes 矢量, K_a 为吸收系数。

由于式(5)推导偏振传输特性时已考虑散射, 因此上式中消光系数 $K_e = K_a$ 。另外由图 1 得参数为:

$$R = \sqrt{((R \sin \theta_T / \sin \theta_s) \cdot \sin \alpha_R)^2 + (R \sin \theta_R / \sin \theta_s)^2}, \\ R_2 = (R \sin \theta_T / \sin \theta_s) \cos \alpha_R.$$

3.2 Stokes 参量计算

偏振紫外光经大气散射传输后被接收端以强度的形式记录下来, 通过式(9)得到接收端的 Stokes 矢量 $\mathbf{S}$ 为:

$$\mathbf{S} = \frac{I_t A_r \exp[-K_e(R_1 + R_2)]}{4\pi\Omega_T R_1^2 R_2^2} \mathbf{V} \mathbf{M}_A(\theta_R) \mathbf{R}_M(\varphi_{SA}) \mathbf{M}(\theta_s) \mathbf{R}_M(\varphi_{PS}) \mathbf{M}_P(\theta_T) (1, 0, 0, 0)^T. \quad (10)$$

将式(1)、(2)、(6)代入式(10)中, 由于 Stokes 矢量的第一项表示光强, 将 Stokes 矢量第一项化简得接收端光强为:

$$I = \frac{1}{4} \frac{I_t A_r \exp[-K_e(R_1 + R_2)]}{4\pi\Omega_T R_1^2 R_2^2} V \times$$

m 和 $K_e^r = 1.41 \times 10^{-3} / \text{m}$ 。而通过 Mie 散射理论, 基于“城市”球形气溶胶类型得到 Mie 散射系数和消光系数分别为 $K_s^m = 0.28 \times 10^{-3} / \text{m}$ 和 $K_e^m = 0.45 \times 10^{-3} / \text{m}^{13}$ 。粒子半径选取晴天时近地面爱根核粒子的半径为 $r = 0.07 \mu\text{m}$ 。另外, 选光功率为 200 mW, 波长 $\lambda = 266 \text{ nm}$ 的紫外光发射器, 接收孔径面积为 $A_r = 1.92 \text{ cm}^2$ 的光电倍增管探测器。

表1 系统主要仿真参数

Tab.1 Main simulation parameters of the system

Parameter	Value	Parameter	Value
Wavelength	266 nm	Scattering particle radius	0.07 μm
Rayleigh scattering coefficient (K_s^r)	$0.32 \times 10^{-3} / \text{m}$	Rayleigh extinction coefficient (K_t^r)	$1.41 \times 10^{-3} / \text{m}$
Mie scattering coefficient (K_s^m)	$0.28 \times 10^{-3} / \text{m}$	Mie extinction coefficient (K_e^m)	$0.45 \times 10^{-3} / \text{m}$
Total scattering coefficient (K_s)	$0.6 \times 10^{-3} / \text{m}$	Total absorption coefficient (K_a)	$1.26 \times 10^{-3} / \text{m}$
UV light source power	200 mW	Detector active area (A_r)	1.92 cm^2

4.2 距离对接收光强的影响

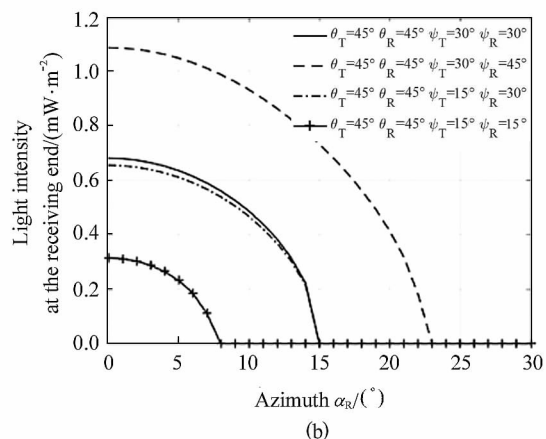
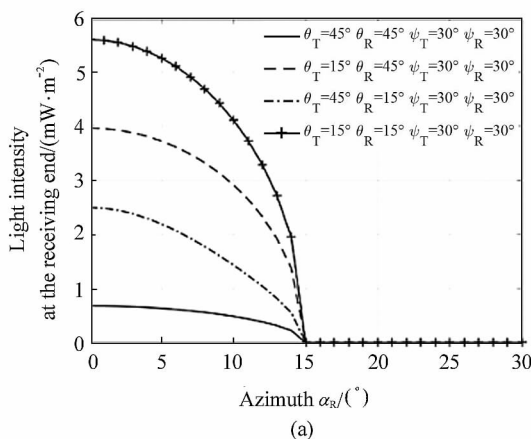
为了选取最佳收发仰角 θ_R 、 θ_T 和收发视场角 Ψ_R 、 Ψ_T ，设定收发距离 R 分别为 200 m、400 m 时，通过单独改变收发仰角及视场角的大小，并结合方位角 α_R 的捕获或检测范围，仿真接收光强 I 的变化情况。

各角度接收光强的影响，如图 2 所示。图 2 中仿真结果表明，在收发视场角 Ψ_R 和 Ψ_T 一定时，随着收发仰角 θ_R 及 θ_T 的增大，接收光强 I 减小，而能够检测的方位角 α_R 范围基本不受影响。接收视场角 Ψ_R 增大时，接收光强 I 增大，方位角 α_R 的检测范围增大。发射视场角 Ψ_T 增大时，接收光强 I 基本不变，同时方位角 α_R 的检测范围基本不受影响。从图 2 也可发现，当方位角 α_R 超过一定值时，接收端接收到的光强下降为 0，不随收发仰角变化而变化，分析原因为方位角 α_R 超过一定值后将导致有效散射体为 0，光子无法经过单次散射到达接收端。通过分析仿真结果可知，在较小的收发仰角 θ_R 、 θ_T 和较大的接收

视场角 Ψ_R 情况下，能够获得较大接收光强及方位角的检测范围。因此，本文为获得较大接收光强及方位角测量范围，以有利于捕获目标完成目标定位，结合实际将收发仰角 θ_R 和 θ_T 均取值为 25° ，收发视场角分别取值 $\Psi_R = 65^\circ$ 和 $\Psi_T = 30^\circ$ 。

另外，由图 2 仿真结果可知，当方位角 $\alpha_R = 0^\circ$ 即收发光轴共面时，接收光强 I 最大。因此，为了获得收发距离对接收光强的影响关系，设方位角 $\alpha_R = 0^\circ$ ，收发仰角及收发视场角均采用图 2 仿真选取的角度，对最大接收光强 I 与收发距离 R 之间的关系进行仿真，如图 3 所示。

由图 3 仿真结果可知，接收光强 I 与收发距离 R 之间呈指数衰减关系。在进行目标定位时，根据系统确定的收发视场角 Ψ_R 和 Ψ_T 及收发仰角 θ_R 和 θ_T ，通过探测器以光强的形式记录接收端信息，转动接收系统，以接收到最大光强时判定转动角度值即方位角 α_R 。并在最大光强状态下即收发光轴共面时，根据接收光强 I 与收发距离 R 之间的关系解算



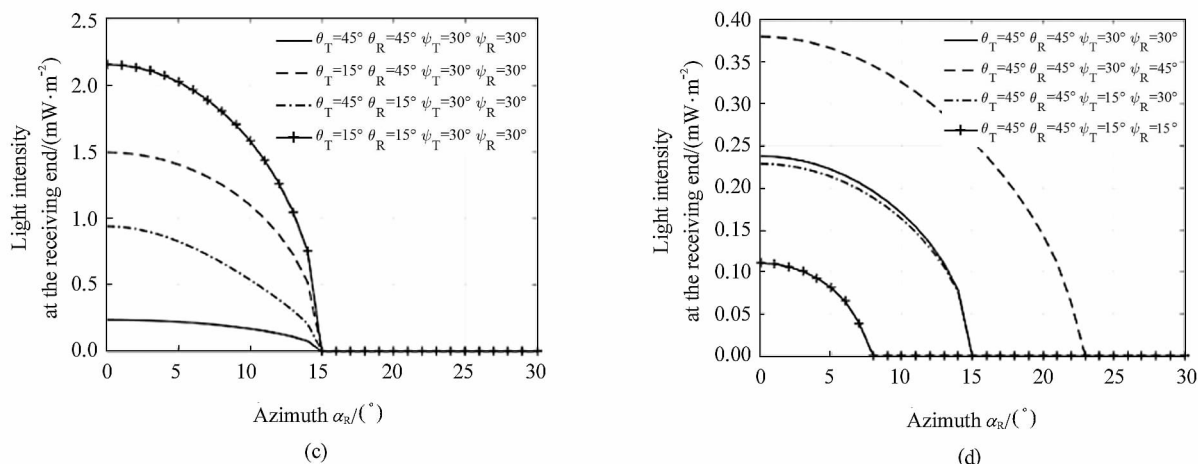


图2 各角度对接收光强的影响:(a) 仰角及方位角对 200 m 和 (b) 视场角及方位角对 200 m 距离接收光强的影响;

(c) 仰角及方位角和 (d) 视场角及方位角对 400 m 距离接收光强的影响

Fig. 2 The influence of various angles on thereceived light intensity: (a) The influence of elevation angle and azimuth angle and (b) angle of field of view and azimuth angle on the received light intensity at a distance of 200 m; (c) The influence of elevation angle and azimuth angle and (d) angle of field of view and azimuth angle on the received light intensity at a distance of 400 m

收发距离 R , 结合 R 和方位角 α_R 完成目标的定位。

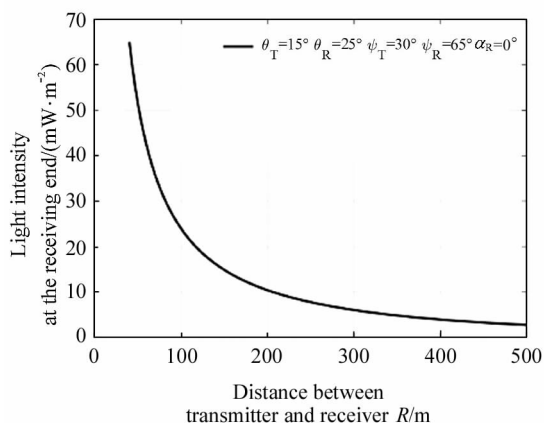


图3 接收光强与收发距离之间的关系

Fig. 3 The relationship between thereceiving lightintensity and the transmitting and receiving distance

4.3 不同距离时收发仰角误差的影响

实际工作时,收发视场角 Ψ_R 和 Ψ_T 在系统完成后便唯一确定,但在应用环境复杂或准备时间有限时,单兵携带的收发系统进行目标定位时会出现系统放置不水平导致收发仰角 θ_R 和 θ_T 出现偏差,为了分析收发仰角误差 ΔR_R 和 $\Delta \theta_T$ 的影响,本文对 ΔR_R 和 $\Delta \theta_T$ 处于 $(-3^\circ-3^\circ)$ 范围内,收发距离 R 分别为 125 m、250 m、375 m 和 500 m 时的测距误差 ΔR 进行

了仿真,仰角误差对测距的影响如图 4 所示。

仿真结果表明,在收发距离 R 一定的条件下, ΔR 在 $\Delta \theta_R$ 和 $\Delta \theta_T$ 同为正或同为负时受影响较大。在 $\Delta \theta_R$ 和 $\Delta \theta_T$ 一定的条件下,收发距离 R 越远所导致的测距误差 ΔR 越大,且呈非线性递增趋势。分析测量数据可知,在收发距离分别为 $R=125$ m、250 m、375 m、500 m, $\Delta \theta_R$ 和 $\Delta \theta_T$ 同为 -3° 时,所引起的距离测量误差分别为 $\Delta R=-7.7$ m, -13.9 m, -19.3 m, -24.1 m。 $\Delta \theta_R$ 和 $\Delta \theta_T$ 同为 3° 时,所引起的距离测量误差分别为 $\Delta R=8.2$ m, 14.8 m, 20.4 m, 25.3 m。收发仰角误差 $\Delta \theta_R$ 和 $\Delta \theta_T$ 同为正误差时对 ΔR 的影响大于 $\Delta \theta_R$ 和 $\Delta \theta_T$ 同为负误差时对 ΔR 的影响,原因是 $\Delta \theta_R$ 和 $\Delta \theta_T$ 同为正误差比同为负误差引起的有效散射体积变化更大。且由仿真结果图可以得出发射仰角误差 $\Delta \theta_T$ 相比接收仰角误差 $\Delta \theta_R$ 对测距误差 ΔR 的影响更为突出,分析原因是发射视场角 $\Psi_T=30^\circ$ 小于接收视场角 $\Psi_R=65^\circ$,有效散射体体积受发射视场角的影响较大。在 $\Delta \theta_R$ 和 $\Delta \theta_T$ 同为 3° 及 $R=500$ m 时, $\Delta R=25.3$ m。因此,对于单兵携带的目标定位系统,结合人眼具有一定的搜寻及捕获目标的能力,进行目标定位时,收发装置在预设收发仰角的基础上,系统放置时的仰角误差均应控制在 $\pm 3^\circ$ 范围内,为便于携带并节约制作成本,可缩小仪器体积及

重量,且在系统中设置水平仪辅助调整并控制仰角

误差。

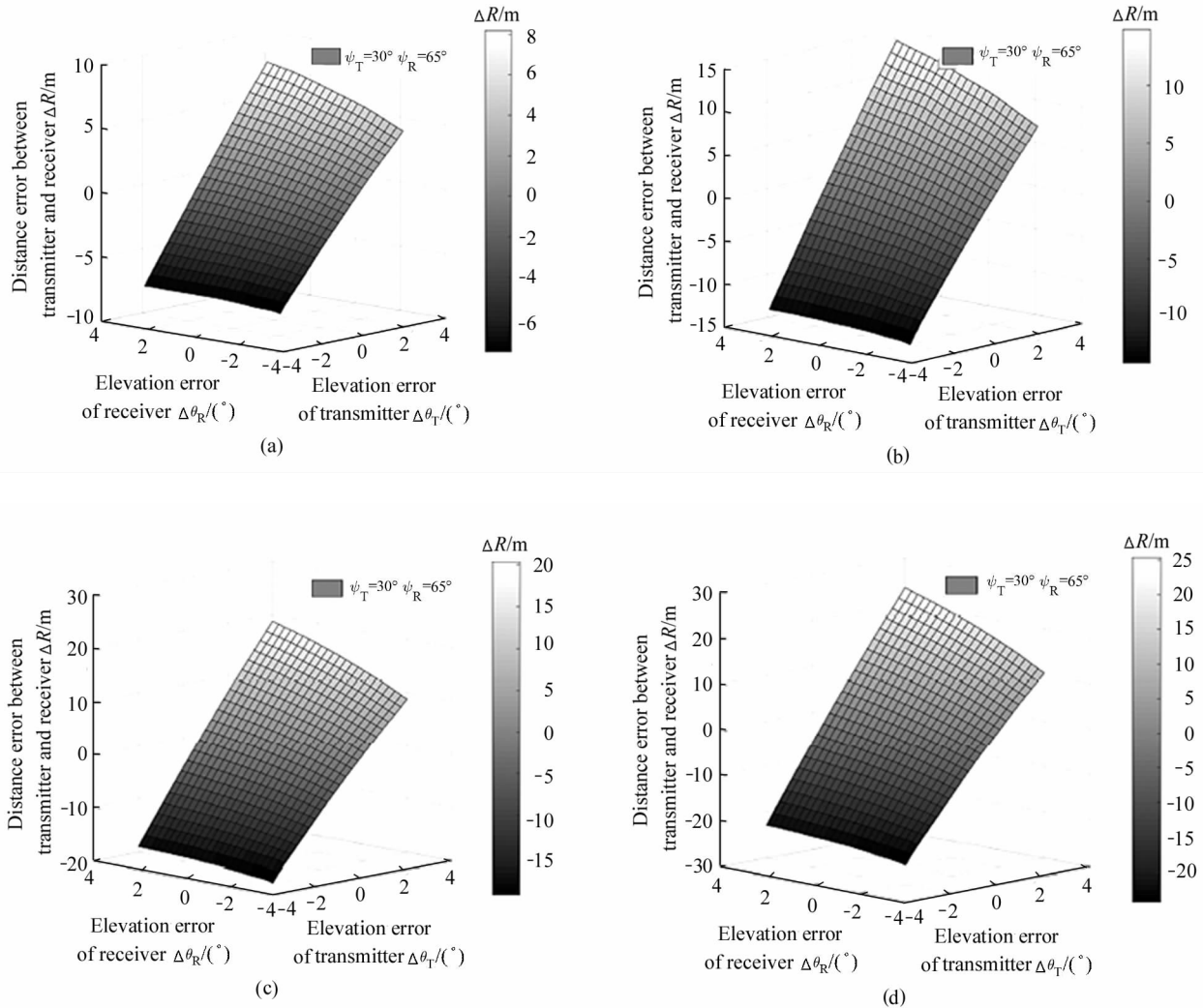


图4 仰角误差对测距的影响:(a)收发距离125 m;(b)收发距离250 m;(c)收发距离375 m;(d)收发距离500 m

Fig. 4 The influence of elevation angle error on ranging:(a) Distance between transmitter and receiver of 125 m;
(b) Distance between transmitter and receiver of 250 m; (c) Distance between transmitter and receiver of 375 m;
(d) Distance between transmitter and receiver of 500 m

4.4 方位角误差的影响

根据图2仿真结果,方位角 α_R 为 0° 时,接收光强 I 达到最大,本文利用接收光轴在地面投影方向上的参考物 F 为基准转动接收系统,以接收端接收到最大光强 I 来判定转动角度 α_R ,根据此时的最大接收光强 I 与收发距离 R 之间的函数关系来解算 R 。但在实际工作时,由于背景噪声的干扰,判定最大接收光强 I 时会存在误差,导致方位角 α_R 转至 0° 时的状态判定不精确,进而影响收发距离 R 的测量。本文分别在 $R=125\text{ m}$, 250 m , 375 m , 500 m 时,对 3° 范围内的方位角判定误差 $\Delta\alpha_R$ 对测距误差 ΔR 的影响进行了仿真,如图5所示。

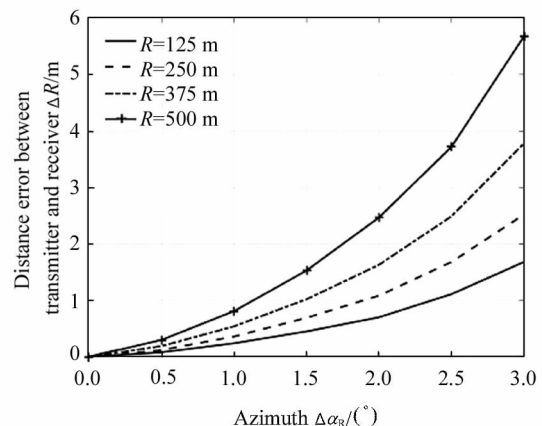


图5 方位角判定误差对测距的影响

Fig. 5 The influence of azimuth determination error on ranging

由图5可知,方位角判定误差 $\Delta\alpha_R$ 越大,测距误差 ΔR 越大,同时收发距离 R 越远,方位角误差 $\Delta\alpha_R$ 对测距误差 ΔR 的影响呈指数递增。当 $\Delta\alpha_R=3^\circ$,收发距离 R 分别为125 m、250 m、375 m和500 m时, $\Delta\alpha_R$ 引起的测距误差 ΔR 分别为1.6 m、2.4 m、3.5 m和5.3 m,误差值较小。但方位角判定误差 $\Delta\alpha_R$ 存在时,根据几何关系会引起 $\Delta R'=R\sin\Delta\alpha_R$ 的真实位置横向偏离误差,在以上距离条件下 $\Delta\alpha_R=3^\circ$ 时, $\Delta R'$ 分别为6.5 m、13.1 m、19.6 m和26.2 m。为降低横向偏离误差,使系统实现精确定位,通过改进电路设计和信号处理算法等有效措施最大范围地抑制光强与噪声干扰来减小 $\Delta\alpha_R$ 。

5 结 论

本文针对紫外光通信在复杂环境下无法进行有效信息传递等突发情况需要实现目标定位的需求,开展了基于偏振紫外光单次散射的目标定位方法研究。本文首先建立了偏振紫外光 NLOS 单次散射模型,利用矩阵光学的方法分析了紫外光在大气中 NLOS 传输时的偏振散射特性和光辐射强度的变化;建立了接收光强、收发距离和方位角之间的关系。其次,利用 Matlab 软件仿真并分析了收发仰角及收发视场角对接收光强及方位角测量范围的影响,选取了系统工作时的收发仰角及视场角。最后通过仿真从理论上验证了系统的可行性,并对实际使用时可能存在的收发仰角误差、噪声对光强测量影响导致的方位角判定误差等对目标定位带来的影响进行了分析,得出了相关结论及参考使用范围,在收发距离 500 m,收发仰角预设值 25° ,二者同时偏离 3° 时,会引起测量误差 $\Delta R=25.3$ m。另外虽然噪声对光强的影响导致方位角判定误差影响测距误差较小,但存在方位角判定误差时,会存在较大的真实位置横向偏离误差,距离 500 m,方位角判定误差为 3° 时,其横向偏离误差为 26.2 m。为实现目标精确定位,针对以上问题本文提出了有效地改进措施,本文提出的目标定位方法相对组网多点坐标相互解算的定位方法减少了硬件部署,提升了定位距离及范围,同时各角度偏差较小时引起定位误差较小,为紫外光通信系统在复杂环境下使用时的系统功能及实际应用提供一定的理论支撑。

参考文献:

- [1] SHAN T, MA J S, WU T F, et al. Impacts of transceiver configuration on ultraviolet communication[J]. Optics and Photonics Journal, 2020, 10(6): 89-94.
- [2] GONG J M, JIANG X B, LI C, et al. Analysis of the transmission characteristics of ultraviolet communication in non-common-scattering volume[J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2016, 27(8): 826-831.
- 巩稼民, 姜小波, 李晨, 等. 无公共散射体的紫外光通信传输特性分析[J]. 光电子 • 激光, 2016, 27(8): 826-831.
- [3] THINN Y A, SUDHANSHU A, YEON H C. Performance dependence of non-line-of-sight ultraviolet communications on atmospheric parameters of the ultraviolet channel[J]. Optics Communications, 2019, 443: 7-11.
- [4] SHAN T, MA J, WU T, et al. Single scattering turbulence model based on the division of effective scattering volume for ultraviolet communication[J]. Chinese Optics Letters, 2020, 18(12): 15-19.
- [5] GLEB S V, OLEG R K, DMITRIY I S, et al. Application of communication systems via the ultraviolet channel in FANET networks[J]. MATEC Web of Conferences, 2020, 309: 01013.
- [6] ZHANG Q S, ZHANG X, WANG L J, et al. Performance Modeling of ultraviolet atmospheric scattering of different light sources based on monte carlo method[J]. Applied Sciences, 2020, 10(10): 3564.
- [7] ZHAO T F, LIU P, ZHANG S, et al. UAV assisted landing guided by UV LEDs. [J]. Applied Optics, 2020, 59(20): 5910-5917.
- [8] ZHAO T F, YU X X, BAO H, et al. Ranging and positioning method using wireless solar blind ultraviolet[J]. Optical and Precision Engineering, 2017, 25(9): 2324-2332.
- 赵太飞, 余叙叙, 包鹤, 等. 无线日盲紫外光测距定位方法[J]. 光学精密工程, 2017, 25(9): 2324-2332.
- [9] YASIR M, HO S W, VELLAMBI B N. Indoor position tracking using multiple optical receivers[J]. Journal of Lightwave Technology, 2015, 34(4): 1166-1176.
- [10] NAZ A, ASIF H M, UMER T, et al. PDOA based indoor positioning using visible light communication[J]. IEEE Access, 2018, 6: 7557-7564.
- [11] BERGEN M H, JIN X, GUERRERO D, et al. Design and implementation of an optical receiver for angle-of-arrival-based positioning[J]. Journal of Lightwave Technology, 2017, 35(18): 3877-3885.
- [12] ZHAO T F, KE X Z. Monte Carlo simulations for non-line-

- of-sight ultraviolet scattering coverage area [J]. Acta Physica Sinica, 2012, 61(11): 285-296.
- 赵太飞, 柯熙政. Monte Carlo 方法模拟非直视紫外光散射覆盖范围[J]. 物理学报, 2012, 61(11): 285-296.
- [13] YIN H W. Study on the characteristics of non-line-of-sight propagation of polarized UV radiation in atmosphere[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011: 12-38.
- 尹红伟. 非视线偏振紫外大气传输特性研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011: 12-38.
- [14] HAN D H, FAN X, ZHANG K, et al. Research on multiple-scattering channel with Monte Carlo model in UV atmosphere communication. [J]. Applied Optics, 2013, 52(22): 5516-22.
- [15] LI C Y, GONG J M, TANG Q, et al. Study on attenuation characteristics of NLOS ultraviolet communication system in haze [J]. Infrared and Laser Engineering, 2017, 46(12): 164-171.
- 李春艳, 巩稼民, 汤琦, 等. 非视距紫外光通信系统中霾衰减特性研究[J]. 红外与激光工程, 2017, 46(12): 164-171.
- [16] ZHAO T F, SONG P. Technology and application of wireless ultraviolet communication[M]. Beijing: Science Press, 2018: 5-7.
- 赵太飞, 宋鹏. 无线紫外光通信技术与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 5-7.

作者简介:

李春艳 (1987—), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事偏振光信息处理及应用方面的研究。