

文章编号:1004-4213(2010)10-1851-6

# 大气信道对垂直收发模式紫外光散射 通信性能影响的仿真\*

丁莹,佟首峰,董科研,姜会林,付强

(长春理工大学 空间光电技术研究所 光电测控与光信息传输技术教育部重点实验室, 长春 130022)

**摘 要:**介绍了非直视单散射信道模型及其在椭球坐标系下的求解方法.在此基础上,针对垂直收发模式,研究了大气信道对紫外光通信系统的影响.对不同天气、不同通信距离条件下,大气信道所产生的能量损耗、时间延迟和脉冲展宽等进行了定量分析和仿真.仿真结果表明:能量衰减随能见度变化曲线存在拐点,即并不是天气越好,能见度越高,系统接收能量越大;通信距离 1 km 时,能见度 18 km 处出现能量衰减最小值;能量衰减随通信距离非线性递增,通信距离 1 km 时,能量衰减近 100 dB;随着通信距离的增加,时间延迟和脉冲展宽都近似呈线性增长,通信距离 1 km 时,时间延迟接近 5  $\mu$ s,脉冲展宽大于 10  $\mu$ s.

**关键词:**紫外光通信;垂直收发模式;大气信道;能量衰减;时间延迟;脉冲展宽

**中图分类号:** TN929.1

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3788/gzxb20103910.1851

## 0 引言

紫外光通信具有数据传输保密性高,系统抗干扰能力强,可用于非直视通信等优点.采用紫外光通信既克服了有线通信需要铺设电缆的缺点,节省了通信设备和线路开设及拆除所需的时间,又克服了无线通信易被监听和受限于障碍物遮挡的弱点.因此,如何发展这种新型通信手段并建立紫外对抗的战术体系,已成为亟待解决的重要课题<sup>[1-3]</sup>.

紫外光通信是基于大气散射和吸收的无线光通信技术.分子(颗粒)的强吸收作用使得在近地面太阳光没有紫外光波段,属于日盲区,减少了对紫外发射光源的干扰.大气分子和悬浮颗粒的强散射作用又为紫外光通信奠定了基础.紫外光通信的基本原理是以紫外日盲区的光谱为载波,信息电信号调制加载在该紫外光上,通信系统的发射端和接收端通过初定位和调整,然后以自由空间和大气为信道来传输信息<sup>[4-10]</sup>.由于分子的强吸收作用,使得在通信范围之外,紫外光信号能量衰减为零,使通信很难被侦听、拦截.因此,紫外光通信可以为短距离传感系统内部节点间通信提供可靠的保密传输.而垂直收发模式的紫外光通信系统不仅具有上述优点,还能够实现全方位多点通信,目前已成为现代高科技战争条件下不可或缺的通信新方式.

由于紫外辐射在大气中由瑞利散射所造成的光能损失较红外线的大得多,使得工作于紫外波段的军用系统与红外系统相比具有很大的不同,紫外线大气传输理论和散射模型及系统空间损耗的仿真至关重要.本文首先介绍了非直视(NLOS, Non-Line of Sight)单散射信道模型及其在椭球坐标系下的求解方法;在此基础上,针对垂直收发模式,研究了大气信道对紫外光通信系统的影响,定量分析了不同天气,不同通信距离条件下,大气信道所产生的能量损耗、时间延迟和脉冲展宽等,为紫外光通信系统分析和设计提供理论依据.

## 1 信道模型的理论分析

紫外光通信以低空大气为传输介质,光波在大气中传播时,大气气体分子及气溶胶的吸收和散射会引起光束能量衰减,衰减的能量部分被吸收而转变为其它形式的能量(如热能等);部分被散射而偏离原来的传播方向(即辐射方向重新分配),吸收和散射的总效果使传输的光辐射强度衰减.

### 1.1 大气吸收模型

大气的吸收表现为当光波通过大气时,大气分子在光波电场作用下产生极化,并随入射光的频率做受迫振动,而光波为了克服大气分子内部阻尼力要消耗能量,其中一部分能量转化为其它形式的能量,表现为大气分子的吸收.对紫外光吸收能力最强的是  $O_3$ ,  $O_3$  的吸收带在 200~280 nm 之间,  $O_3$  的浓度直接影响紫外光通信信号的强度.不同  $O_3$  浓

\* 国家高技术研究发展计划资助

Tel: 0431-85583348

Email: dingying@cust.edu.cn

收稿日期: 2010-01-04

修回日期: 2010-05-20

度对紫外光的吸收作用如图 1, 其中, ppb(parts per billion)为  $O_3$  浓度的单位. 在已知  $O_3$  浓度的条件下, 通过图 2 可得到大气吸收系数  $k_a$  ( $km^{-1}$ ). 由图可见, 海拔高度越高臭氧浓度越高, 天空背景光吸收越大, 传输损耗就越大; 而近地表臭氧含量稀薄, 大气吸收作用减小, 传输损耗降低; 天空背景光强度在 550 nm 处为峰值, 随着波长的降低, 对应的天空背景光呈下降趋势. 所以, 考虑到背景光强度问题, 选择波长为 254 nm 的紫外光进行通信较理想. 臭氧的吸收作用一方面减少了可进行传输信号的数量, 另一方面它又是紫外光通信隐密传输的基础. 正是由于这种吸收作用, 导致紫外光在大气传输中有较大的衰减因子, 使得在传输范围以外的信号很难被截取.

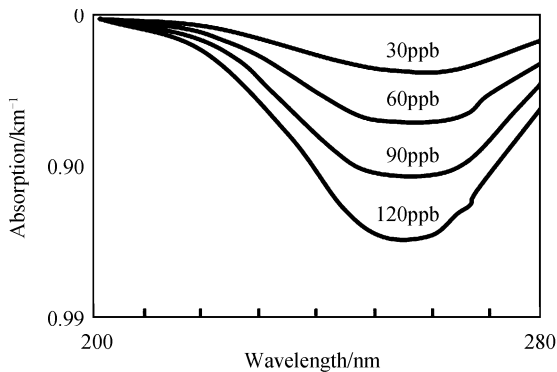


图 1  $O_3$  浓度对紫外光的吸收作用  
Fig. 1 UV absorption by  $O_3$

## 1.2 大气散射模型

大气的散射是由大气中不同大小的颗粒的反射或折射造成的, 不同尺寸的分子和气溶胶具有不同的散射特性. 根据传输的紫外光波长与散射粒子直径的关系, 可以将散射分为三种: 瑞利(Rayleigh)散射, 米氏(Mie)散射, 非线性散射. 当光波波长远大于散射微粒尺寸时, 主要是瑞利散射; 当大气散射微粒的尺寸与光波波长相近时, 主要产生米氏(Mie)散射; 当光波波长远小于散射微粒尺寸时, 产生非线性散射. 大气分子散射可使用瑞利模型的经典式(1)计算散射系数

$$k_s^{Ray} = 2.677 \times 10^{-17} \times \frac{P}{T} \times \lambda^{-4} \quad (1)$$

式中,  $k_s^{Ray}$  为瑞利散射系数,  $P$  为大气压强,  $T$  为绝对温度,  $\lambda$  为光波波长.

近地面大气层中, 造成光能量衰减的主要是气溶胶微粒的散射, 该散射属于米氏散射. 由于米氏散射的公式不易进行计算并且输入量数据不易测量, 通常使用一个与能见度有关的经验公式来估算<sup>[11]</sup>, 其表达式为

$$k_s^{Mie} = \frac{3192}{R_v} \times \left( \frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^q \quad (2)$$

式中,  $k_s^{Mie}$  为米氏散射系数,  $R_v$  为能见度,  $\lambda_0 = 550$  nm,  $q$  为与能见度有关的参量, 如式(3)

$$q = \begin{cases} 1.6 & (R_v > 50\ 000\ m) \\ 1.3 & (6\ 000\ m < R_v \leq 50\ 000\ m) \\ 0.000\ 16R_v + 0.34 & (1\ 000\ m < R_v \leq 6\ 000\ m) \\ (R_v - 500)/1\ 000 & (500\ m < R_v \leq 1\ 000\ m) \\ 0 & (R_v \leq 500) \end{cases} \quad (3)$$

而米氏散射和瑞利散射与散射角的关系并不相同, 通常使用体散射函数来表征散射角的分布, 如图 2. 由图 2 可见: 米氏散射受散射角影响较大, 散射角越小, 散射作用越强; 而瑞利散射受散射角影响较小, 不同散射角的散射作用相近; 因此, 米氏散射主要是前向散射, 而瑞利散射是全向散射.

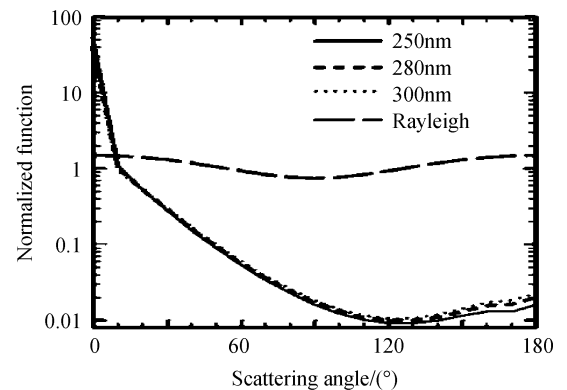


图 2 体散射函数曲线  
Fig. 2 Scattering function curve

大气对日盲紫外光传输总的衰减作用可以表示为吸收和散射作用之和, 即衰减系数为:  $k_e = k_a + k_s$ , 散射系数为:  $k_s = k_s^{Ray} + k_s^{Mie}$ . 因此, 大气中  $O_3$  浓度, 紫外光的波长, 大气能见度等是紫外光的大气信道模型中的主要影响因素.

## 2 非直视单散射通信模型

NLOS 紫外光通信模型<sup>[12-17]</sup> 如图 3. 假设发射光轴和接收轴相交于同一平面, 后面的讨论都基于这一假设.  $T_x$  为发射机光锥,  $R_x$  为接收机视锥,  $V$  为两圆锥相交的体积, 发射机和接收机的仰角分别为  $\beta_e, \beta_r$ , 发射束散角和接收视场角分别为  $\theta_e, \theta_r$  (本文使用半角), 通信距离为  $r$ ,  $V$  中任意一点到达接收机和发射机的距离分别为  $r_1$  和  $r_2$ ,  $\theta_s = \beta_e + \beta_r$ . 光信号由发射仰角和接收仰角交叉部分(有效散射区域)的散射体散射后到达接收机, 从而完成通信. 通过计算有效散射区域经大气散射光信号的数量, 从而得出探测接收机接收到的能量. 到达接收机的光信号数量是由系统的几何结构和大气散射系数 ( $k_s$ )、衰减系数 ( $k_e$ ) 决定的. 几何结构主要包括发射

机束散角、接收机视场角、发射机仰角、接收机仰角以及传输距离等。

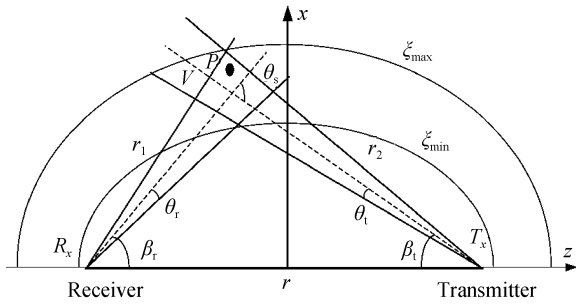


图3 非直视紫外光通信系统  
Fig. 3 NLOS scattering ultraviolet communication system

假设  $t=0$  时刻,一个能量为  $E_t$  的脉冲经发射圆锥角  $T_x$  发射后,经各向同性介质散射和吸收后到达距发射机距离为  $r_2$  的  $V$  内一点  $P$ ,当  $P$  位于发射圆锥角内,那么经  $t=r_2/c$  ( $c$  代表波速) 时间传输后,  $P$  点处的能量为:  $H_P = \frac{E_t \exp(-k_c r_2)}{\Omega_t(r_2^2)}$ , 式中,  $\Omega_t = 4\pi \sin^2(\theta_t)$  指发射固有圆锥角,  $k_c$  为衰减因子。

将微分体积元  $\delta V$  包围点  $P$  看作一个二级光源,其能量为

$$\delta Q_P = k_s H_P \delta V = \frac{k_s E_t \exp(-k_c r_2)}{\Omega_t(r_2^2)} \delta V \quad (4)$$

二级光源单位圆锥角发射的能量是散射角  $\theta_s$  的函数,其表达式为  $\delta R_P = \delta Q_P P(\mu)$ , 其中,  $\mu = \cos(\theta_s)$ ,  $P(\mu)$  为单散射相位函数可由式(5)计算得到。

$$P(\mu) = \frac{k_s^{\text{Ray}}}{k_s} p^{\text{Ray}}(\mu) + \frac{k_s^{\text{Mie}}}{k_s} p^{\text{Mie}}(\mu) \quad (5)$$

式中,  $p^{\text{Ray}}(\mu)$  和  $p^{\text{Mie}}(\mu)$  分别为瑞利散射相位函数和米氏散射相位函数<sup>[12]</sup>, 计算为

$$\begin{cases} p^{\text{Ray}}(\mu) = \frac{3[1+3\gamma+(1-\gamma)\mu^2]}{16\pi(1+2\gamma)} \\ p^{\text{Mie}}(\mu) = \frac{1-g^2}{4\pi} \left[ \frac{1}{(1+g^2-2g\mu)^3/2} + f \frac{0.5(3\mu^2-1)}{(1+g^2)^{3/2}} \right] \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $\gamma, g, f$  是模型参量。

能量  $R_P$  传递到距离为  $r_1$  的接收机上,接收机探测器每单位面积元接收到的能量为

$$\delta E_r = \frac{E_t k_s P(\mu) \delta V \cos(\zeta) \exp(-k_c(r_1+r_2))}{\Omega_t r_1^2 r_2^2} \quad (7)$$

式中  $\zeta$  是接收机、微分体积元连线矢量与接收轴的夹角,  $\cos(\zeta)$  用来求接收机探测到的有效面积。

$t$  时刻接收总能量  $E_r$  可以通过对  $\delta E_r$  的积分求得,在椭球坐标系中,  $t = (r_1 + r_2)/c$ ,  $\xi = ct/r$  ( $\xi_{\min} < \xi < \xi_{\max}$ )。

### 3 仿真结果与分析

通过大气信道模型和非直视单散射模型的理论分析可知:影响紫外光通信性能的主要因素包括大气中  $O_3$  浓度,紫外光的波长,大气能见度,有效散射区域体积等. 本文对最常见的垂直收发模式(即发射机和接收机的仰角都为  $90^\circ$ 、发射机和接收机的束散角都为  $45^\circ$ ) 的紫外光通信系统的通信性能进行了详细的仿真. 仿真条件为:通信距离 1 km,能见度 20 km,大气吸收系数  $k_a = 0.9 (\text{km}^{-1})$ ,  $\beta_t = \beta_r = 90^\circ$ ,  $\theta_t = \theta_r = 45^\circ$ 。

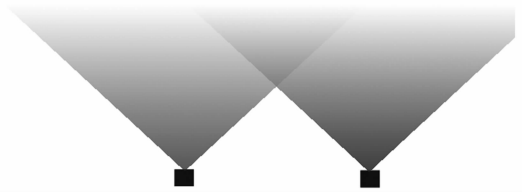


图4 垂直收发模式紫外光通信系统  
Fig. 4 Vertical transmitter-receiver model of UV communication system

#### 3.1 能量损耗仿真

##### 3.1.1 不同大气条件

近地面大气层中,造成光能量衰减的主要是气溶胶微粒的散射,因此,能见度是影响紫外光在大气信道中传输的主要因素之一. 能见度在白天指以水平天空为背景下,人眼能看得见的最远距离,在夜间指能看见中等强度的未聚焦光源的距离. 能见度对紫外光散射通信系统中能量损耗的影响如图 5. 由仿真结果可以看出:1)能见度小于 10 km 时,能量衰减随能见度的降低迅速增加,能见度小于 5 km 时能量衰减大于 100 dB;2)能见度大于 10 km 后,能量衰减随能见度的变化较缓慢,基本变化范围在 1 dB 之内;3)曲线存在拐点,证明存在能量衰减极值,当能见度为 18 km 时,能量衰减出现最小值;4)并不是天气越好,能见度越高,大气信道的能量衰减越小,当能见度大于 25 km 时,随能见度的升高,探

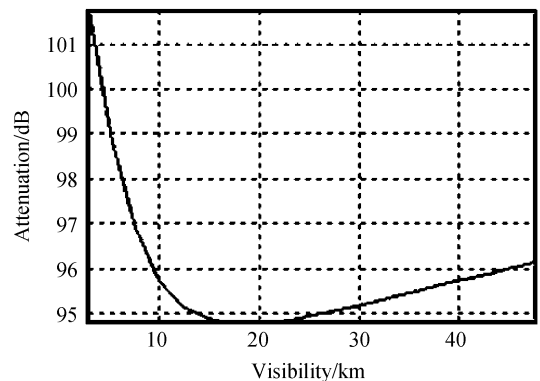


图5 能量损耗随大气能见度的变化曲线  
Fig. 5 Curve of energy attenuation with visibility

测器接收到的能量反而降低了,这是由于紫外散射通信是基于有效散射区域粒子散射作用的原理.由上文中散射模型的分析可知,紫外光在有效散射区域中时全向瑞利散射起主要作用,进入和离开该有效区域时,前向米氏散射起主要作用;在此系统中,能见度不仅会产生能量衰减,更是能量传输的重要条件,因此存在某个能见度作为两种效应得折中,使得能量衰减最小.

3.1.2 不同通信距离

通信距离的长短直接影响通信链路的能量损耗大小,因此,通过能量衰减随通信距离的变化曲线可以计算出各种情况下的最远通信距离.垂直收发模式的散射通信能量衰减与通信距离之间的关系如图6.从图6中可见:1)通信距离较小时,能见度对能量变化的影响较小;2)随着距离的增加,天气对能量衰减影响程度的差异也逐渐增加,即能见度越低,能量衰减曲线越陡,反之,曲线越平缓;3)当通信距离为1 km时,能量衰减已近100 dB,而现有的发射和接收条件要求链路损耗在100~120 dB之间.因此,该模式的紫外散射通信系统适用于近距离集群通信.

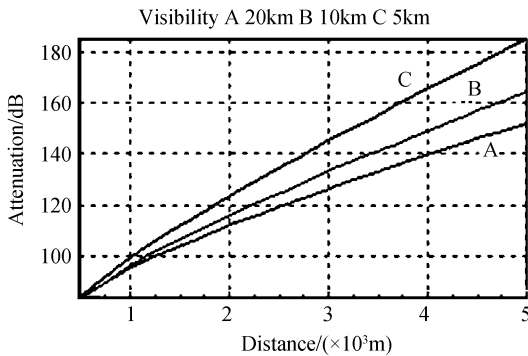


图6 不同天气下能量损耗随通信距离的变化曲线  
Fig. 6 Curve of energy attenuation with communication distance in different weather

3.2 时间延迟和脉冲展宽仿真

光波在大气层传播的过程中,大气层的散射会引起与光纤中模式色散相似的多径色散,这种多径色散使光波的波形发生畸变.在非直视紫外光通信

系统中,光源发射光脉冲后,由于信道中存在大量的散射元,散射路径上的光脉冲到达接收端延时不同,且合并成一个比发射的光脉冲更加宽的光学脉冲,从而发生多径传输效应,导致时间延迟,脉冲展宽等现象.信道中散射元对传输光波的散射越强,多径时间延迟和接收光脉冲的展宽就越严重,从而在接收端产生严重码间串扰,这将会限制系统的最大可用带宽.为此,本文对垂直收发模式紫外通信过程中的时间延迟和脉冲展宽进行了数字仿真.图7统计了不同通信距离条件下时间延迟的大小,由曲线可见:1)随着通信距离的增加,时间延迟近似呈线性增长;2)通信距离1 km时,时间延迟接近5 μs;距离2 km时,已达到10 μs;因此,对于垂直收发模式紫外通信过程中,时间延迟现象较严重.图8为几种典型通信距离条件下,脉冲能量的时域分布图,由曲线可见:1)三条曲线的走向和形状类似,脉冲传输过程中上升沿较陡,而下降沿出现不同程度的拖尾现象;2)通信距离越远,曲线的拖尾现象越严重,拖尾严重会造成码粘连和码间串扰等现象,影响误码率;3)通信距离越远,曲线范围越宽,即脉冲展宽越严重.图9为脉冲展宽随通信距离的变化曲线,由图可见:1)随着通信距离的增加,脉冲展宽近似呈线性增长;2)通信距离1 km时,脉冲展宽大于10 μs;3)通信距离从1 km增加到2 km时,大气引起的脉冲展宽增加了两倍多.

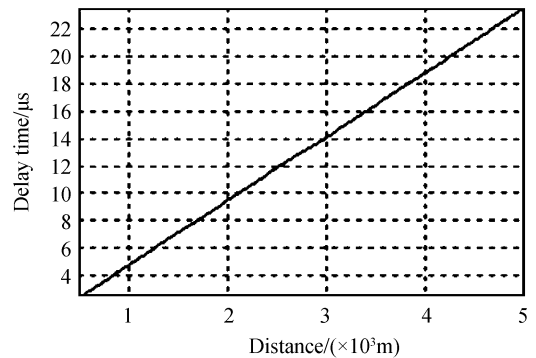


图7 时间延迟随通信距离的变化曲线  
Fig. 7 Curve of time delay with communication distance

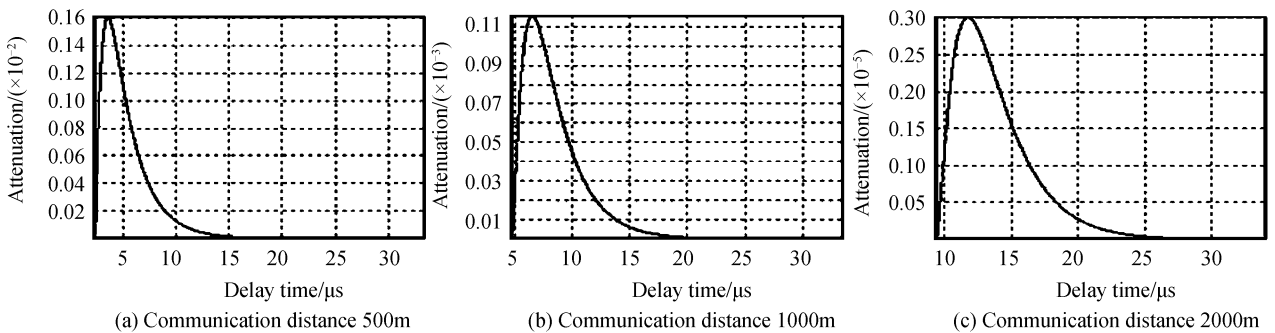


图8 不同通信距离下能量损耗分布图  
Fig. 8 Energy attenuation distribution in different communication distance

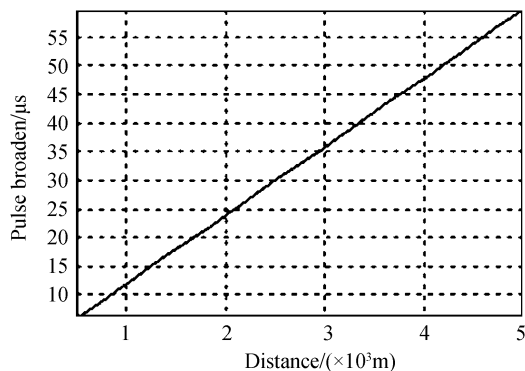


图9 脉冲展宽随通信距离的变化曲线

Fig.9 Curve of pulse broaden with communication distance

## 4 结论

本文介绍了非直视单散射信道模型及其在椭球坐标系下的求解方法;在此基础上,针对垂直收发模式,研究了大气信道对紫外光通信系统的影响,对不同天气,不同通信距离条件下,大气信道所产生的能量损耗、时间延迟和脉冲展宽等进行了定量分析和仿真.通过对仿真结果的分析,得到以下结论:

1)能量衰减随能见度变化曲线存在拐点,即并不是天气越好,能见度越高,大气信道的能量衰减越小,当能见度为 18 km 时,能量衰减出现最小值;

2)能量衰减随通信距离非线性递增,通信距离为 1 km 时,能量衰减已近 100 dB,因此,紫外散射通信适用于近距离通信;

3)随着通信距离的增加,时间延迟和脉冲展宽都近似呈线性增长,通信距离 1 km 时,时间延迟接近 5 μs,脉冲展宽大于 10 μs,传输速率限制为 100 Kbps,适用于低速率通信,常见于集群内部命令的发布.

### 参考文献

- [1] LI Ji-ye, QIU Ke-ni. Military application of UV communication [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2005, **3**(4):19-21.  
李霁野,邱柯妮. 紫外光通信在军事通信系统中的应用[J]. *光学与光电技术*, 2005, **3**(4):19-21.
- [2] JIA Hong-hui, CHANG Sheng-li, YANG Jian-kun, *et al.* Monte carlo simulation of atmospheric transmission characteristics in non-line-of-sight ultraviolet communication [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(5): 955-960.  
贾红辉,常胜利,杨建坤,等. 非视线紫外通信大气传输特性的蒙特卡罗模拟[J]. *光子学报*, 2007, **36**(5): 955-960.
- [3] CAO Fu-yun, XU Jun, ZHU Gui-fang, *et al.* Regional ultraviolet laser secret communication and application [J]. *Optical Communication Technology*, 2006, **30**(5): 59-61.

- 曹付允,徐军,朱桂芳,等. 区域紫外激光保密通信及其应用[J]. *光通信技术*, 2006, **30**(5):59-61.
- [4] LAN Tian, NI Guo-qiang. Simulation research on ultraviolet atmospheric transmission in UV communication [J]. *Transactions of BEIJING Institute of Technology*, 2003, **23**(4): 419-423.  
蓝天,倪国强. 紫外通信的大气传输特性模拟研究[J]. *北京理工大学学报*, 2003, **23**(4):419-423.
- [5] CHEN Jun-hong, YANG Xiao-li. Research of the atmospheric factors of solar blind ultraviolet communication [J]. *Laser Journal*, 2008, **29**(4): 38-39.  
陈君洪,杨小丽. 非视线“日盲”紫外通信的大气因素研究[J]. *激光杂志*, 2008, **29**(4):38-39.
- [6] JIN Wei-qi, HE Yu-qing, WANG Ling-xue, *et al.* Analysis of atmospheric ultraviolet transmission by computer simulation [J]. *Acta Armamentarii*, 2001, **22**(1): 48-52.  
金伟其,何玉青,王玲学,等. 大气紫外传输特性的计算机仿真分析[J]. *兵工学报*, 2001, **22**(1):48-52.
- [7] GRAY A S, ANDREW M S. Field testing and evaluation of a solar-blind UV communication link for unattended ground sensors[C]. *SPIE*, 2004, **5417**: 250-261.
- [8] GRAY A S, ANDREW M S. Recent progress in short-range ultraviolet communication[C]. *SPIE*, 2004, **5796**: 214-225.
- [9] ANDREW M S, GRAY A S. Short-Range communication with ultraviolet LEDs[C]. *SPIE*, 2004, **5530**: 182-193.
- [10] DAVID M R, DANIEL T M, JOHN A M. Unique properties of solar blind ultraviolet communication systems for unattended ground sensor networks[C]. *SPIE*, 2004, **5611**: 244-254.
- [11] HAN Cheng, BAI Bao-xing, YANG Hua-min, *et al.* Study and simulation of air influences on laser pulse transmission delay time[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(8): 2046-2050.  
韩成,白宝兴,杨华民,等. 大气信道对激光脉冲延迟时间影响的仿真研究[J]. *光学学报*, 2009, **29**(8):2046-2050.
- [12] SHAW G A, NISCHAN M, IYENGAR M, *et al* NLOS UV Communication for distributed sensor systems[C]. *SPIE*, 2000, **4126**: 83- 96.
- [13] GRAY A S, MELISSA N. Short-Range NLOS ultraviolet communication test bed and measurements[C]. *SPIE*, 2001, **4396**: 31-40.
- [14] GRAY A S, MELISSA N. NLOS UV communication for distributed sensor systems[C]. *SPIE*, 2000, **4126**: 83-87.
- [15] GRAY A S, ANDREW M S, Demonstration system and applications for compact wireless non-line of sight UV communication[C]. *SPIE*, 2003, **5071**: 241-252.
- [16] XU Zheng-yuan, DING Hai-peng. Analytical performance study of solar blind non-line-of sight ultraviolet short-range communication links [J]. *Optical letters*, 2008, **33**(16): 1860-1862.
- [17] ZHANG Jing. Atmospheric channel model along with coding and decoding design for NLOS ultraviolet communication[D]. Guilin: University of Electronic Science and Technology of China, 2007:18-28.  
张静. 非直视紫外光通信大气信道模型研究及编解码设计[D]. 桂林:电子科技大学, 2007:18-28.

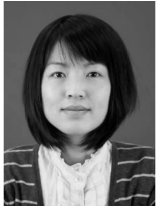
## Study and Simulation of Atmospheric UV Communication Performance with Vertical Transmitter-Receiver

DING Ying, TONG Shou-feng, DONG Ke-yan, JIANG Hui-lin, FU Qiang

*(Changchun University of Science & Technology, Key Laboratory of Technology of Photo-Electronic Measure-Control and Laser Transfers, Ministry of Education, Changchun 130022, China)*

**Abstract:** The non-line of sight single scattering channel model and its solution in ellipsoidal coordinates are introduced. According to vertical transmitter-receiver model, the influence of atmospheric channel on ultraviolet communication system is analyzed. Under different weather conditions and different communication distances, the transmission loss, time-delay and pulse broaden etc. caused by atmospheric channel are quantificationally analyzed and simulated. The simulation results show that: the curve of energy attenuation with visibility dependence has inflection point that the better weather and the higher visibility do not result in greater system receiving energy; when the visibility equals to 18 km, the minimum of energy attenuation occurs; energy attenuation nonlinearly increases with the increase of communication distance, and the energy attenuation is almost 100 dB when the communication distance equals to 1 km; with the increase of the communication distance, both time delay and pulse broaden approximately linearly increase; the time delay is close to 5  $\mu\text{s}$  and pulse broaden is greater than 10  $\mu\text{s}$  when the communication distance equals to 1 km.

**Key words:** Ultraviolet communication; Vertical transmitter-receiver; Atmospheric channel; Transmission loss; Time-delay; Pulse broaden



**DING Ying** was born in 1983. She is a Ph. D. degree candidate and a lecturer. Her research interests mainly focus on computer simulation and image processing.