

文章编号: 0253-2239(2007)07-1191-7

# 凝视型水下激光成像后向散射光理论模型研究\*

黄有为 金伟其 王霞 曹峰梅 王岭雪

(北京理工大学光电工程系, 北京 100081)

**摘要:** 建立了后向散射光在二维光敏面上能量分布的理论模型, 结合典型水下激光成像系统, 提出用像面表观衬比度来评价系统极限探测距离的方法, 并推导了计算公式; 通过选取水下激光成像系统的典型参量进行模拟计算, 进一步讨论了系统主要组成部分的相对位置对像面表观衬比度分布的影响; 得到像面表观衬比度与目标距离的关系曲线以及系统极限探测距离随海水衰减系数的变化曲线, 从而估算出不同水质条件下系统的极限探测距离。模拟仿真数据与实际实验结果基本一致。

**关键词:** 成像系统; 水下成像; 凝视成像; 后向散射; 表观衬比度

中图分类号: TN249 文献标识码: A

## Theoretical Optical Backscattering Model for Staring Underwater Laser Imaging

Huang Youwei Jin Weiqi Wang Xia Cao Fengmei Wang Lingxue

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

**Abstract:** A theoretic model was built about the distribution of optical backscattering energy on the two dimensional photosensitive surface. Then, applied to typical underwater laser imaging system, a method was proposed to calculate the maximum detecting distance according to the apparent contrast. The theoretic calculations were programmed, and the variances of the apparent contrast were discussed when changing the relative position of some components. The relationship curve between the apparent contrast and the target distance as well as the curve between the maximum detecting distance and the attenuation coefficient were obtained, so that the maximum detecting distances could be estimated in different kinds of water quality, which are consistent with the actual experimental results.

**Key words:** imaging system; underwater imaging; staring imaging; backscattering; apparent contrast

## 1 引 言

水下是一个很复杂的环境, 水对光的衰减作用主要包括吸收和散射两个方面<sup>[1,2]</sup>, 且对光的衰减程度随着水质的不同而不同。水下探测初期所用的探测器多为光电倍增管<sup>[3,4]</sup>等, 采用扫描方式获得水下场景图像, 其特点是将目标场景的总反射通量和水下路径海水的总后向散射通量作为系统所接收到的信号和附加噪声。当电荷耦合器件、CCD 成像器件出现之后, 人们或直接用 CCD<sup>[5]</sup>或在 CCD 前耦合像增强器成像<sup>[6,7]</sup>, 大大地提高了探测器在低照度下的探测能力。在理论分析方面, 大多延用了以前的模型, 即将 CCD 光敏面上所接收到的信号光和后向散射光的总通量或者平均光照度<sup>[5~8]</sup>来衡量

信号和噪声的大小。实际上, 由于凝视型探测器像元阵列呈二维离散分布, 入射的光辐射会在光敏面上形成二维空间分布, 利用总通量或平均照度来衡量信号和噪声则由于未考虑到光敏面(像管光阴极面或 CCD 光敏面)的离散结构特点, 造成对水下光电成像系统的作用距离或其它性能评价的偏差。近年来, 随着水下成像探测、水下资源勘查等的应用需求, 建立符合实际的凝视型水下成像模型, 分析后向散射光在光敏面上的分布及其对成像系统性能的影响, 对于发展先进的水下光电成像系统具有重要意义。为此, 本文将研究凝视型水下激光成像系统成像光敏面上后向散射光的二维分布模型, 以实现成像系统的性能分析, 为实际系统的参量设计提供

\* 国家 863 计划海洋技术领域(2006AA09Z207)和总装预研基金(51405020405BQ01)资助课题。

作者简介: 黄有为(1983—), 男, 重庆开县人, 博士研究生, 主要从事微光与红外成像技术、图像处理方面的研究。

E-mail: fronter@bit.edu.cn

导师简介: 金伟其(1961—), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 主要从事微光与红外成像技术、光电图像处理、光电检测技术等方面的研究。E-mail: jinwq@bit.edu.cn

收稿日期: 2006-09-28; 收到修改稿日期: 2006-12-28

理论依据。

## 2 水下激光成像系统的原理与组成

水下激光成像系统主要包括激光发射器和成像接收器,其原理以及成像关系如图 1 所示。激光发射器与成像接收器相距  $d_0$ ,为使激光发射器照射在成像接收器视轴上距离  $z_t$  的目标上,发射器存在倾角  $\theta$ ,在激光发射器照射视场与接收器视场所交叠区域的后向散射光将可能进入成像视场,形成附加背景噪声;为此,定义视场交叠区域内垂直于接收器轴线的任一截面为散射截面;两视场刚相交的点称为盲点,盲点到接收器中心的水平距离  $z_0$  称为盲点距离。

水下激光成像系统有多种分类方式。按激光器工作方式可分为连续激光成像和脉冲激光成像;按接收器成像方式可分为直接成像、距离选通成像和同步扫描成像;按去除后向散射方式可分为角度或空间标注成像、时间标注成像和偏振标注成像<sup>[9]</sup>。本文研究主要针对大功率短脉冲激光照明,接收器采用凝视型增强式电荷耦合器件(ICCD)直接成像。

假设激光强度分布均匀,激光脉冲能量为  $Q$ ,功率为  $P_0 = Q/t_p$ ,  $t_p$  为脉冲宽度,出射激光强度为

$$I_0 = \frac{P_0 \cdot C \cdot V(\lambda)}{\Omega_\alpha}, \quad (1)$$

其中  $\lambda$  为激光波长,  $\Omega_\alpha$  是激光器的发射立体角,  $\Omega_\alpha = \pi \sin^2 \alpha$ ,  $\alpha$  是激光器的半发射视场角,  $V(\lambda)$  是视见函数,  $C = 683 \text{ (cd} \cdot \text{sr)}/\text{W}$ 。当光在水中传播时,其透射率可表示为

$$\tau_1(\lambda, z) = \frac{I(\lambda, z)}{I_0(\lambda)} = \exp\{-c(\lambda) \cdot z\} = \exp\{-[\alpha(\lambda) + \gamma(\lambda)] \cdot z\} = \tau_\alpha(\lambda, z) \cdot \tau_\gamma(\lambda, z), \quad (2)$$

式中  $I_0(\lambda)$  为激光出射光强度,  $I(\lambda, z)$  为经过距离  $z$  后的光强度,  $\alpha(\lambda)$  和  $\gamma(\lambda)$  分别是吸收和散射系数,  $c(\lambda)$  是总衰减系数,  $\tau_\alpha(\lambda, z)$  和  $\tau_\gamma(\lambda, z)$  分别是因水的吸收和散射而形成的透射率。

## 3 凝视型水下激光成像的后向散射光模型

### 3.1 散射截面后向散射光强度

如图 1 所示,距离激光器  $z$  处的光照度为

$$E(z) = \frac{I_0(\lambda)}{z^2} \cdot \tau_1(\lambda, z), \quad (3)$$

在  $z$  平面  $dz$  路径上单位体积、单位立体角内后向散射光强度  $dI_\gamma(\lambda, z)$  为<sup>[10]</sup>

$$dI_\gamma(\lambda, z) = \beta(\pi) \cdot \gamma(\lambda) \cdot E(z) \cdot dV, \quad (4)$$

式中,散射体积  $dV$  是散射面上面积元  $dS$  与照明厚度  $dz$  的乘积,  $\beta(\pi)$  是后向散射比例系数,定义为后向散射系数占体散射系数的百分比;  $\theta = \arctan(d_0/z_t)$  为发射器中心轴与接收器中心轴的夹角;  $d_0$  是发射扩束镜中心与接收物镜中心的距离,  $z_t$  为目标距离。

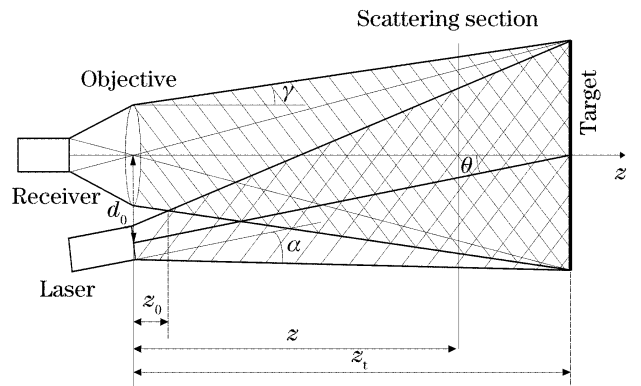


图 1 水下激光成像系统工作原理示意图  
Fig. 1 Geometric illustration of the basic principle of underwater laser imaging system

### 3.2 接收光学系统点扩展函数

在凝视型水下激光成像系统中,因为只有接收器成像面与目标面才是一对理想成像面,故目标与盲点之间任一散射截面上每一点的后向散射光均会在成像面上形成一个光斑,可用点扩展函数表示。以光轴为  $z$  轴,  $x, y$  轴分别在垂直于光轴的平面内,坐标原点为  $O_0$ (如图 2)。  $P(0, 0, z)$  是散射截面与  $z$  轴的交点,其通过物镜后成像在  $P'$  点,成像面与接收物镜的距离  $OO_0 = D$ 。由图 2 的成像关系可得:成像面上一点  $(x, y)$  在光敏面上形成圆心在  $(x_0 = -nDx/z, y_0 = -nDy/z)$ , 半径为  $r_0$  的圆斑

$$r_0(z) = \frac{1}{2} \left\{ \left[ 1 - \frac{(z - nf')D}{zf'} \right] D_0 \right\}, \quad (5)$$

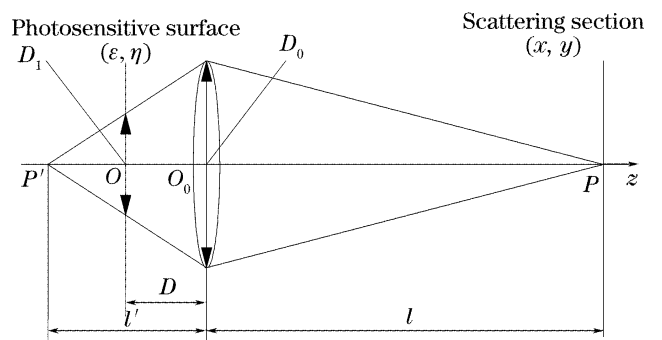


图 2 散射截面上一点的成像关系图  
Fig. 2 Imaging relation of a point on the scattering section

其中  $z = l, n$  是海水折射率,  $D = z_i f' / (z_i - n f')$ ,  $f'$  为光学系统焦距,  $D_0$  是物镜通光口径。

设点  $(x, y)$  处的后向散射辐射强度为  $\delta(x, y)$ , 则通过光学系统在成像面上的光斑照度  $E_h(z)$  为

$$E_h(z) = \frac{\delta(x, y)\tau_1(z)\Omega_P\tau_2}{\pi r_0^2(z)}, \quad (6)$$

其中  $\tau_2$  是物镜的光谱透射率,  $\Omega_P$  是点  $P$  对透镜所张的立体角  $\Omega_P = \pi D_0^2 / (4z^2)$ 。此时, 系统点扩展函数  $h(x', y', z, x, y)$  可表示为

$$h(x', y', z, x, y) = E_h(z) \text{circ} \left[ \frac{\sqrt{(x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2}}{r_0(z)} \right], \quad (7)$$

其中  $\text{circ}(r) = \begin{cases} 1, & |r| \leq 1 \\ 0 & \text{other} \end{cases}$ 。

### 3.3 单一散射面后向散射光在成像面的分布

能进入接收系统的后向散射光分布在成像视场和照明视场的交叠区域  $S(z)$  内。当成像视场为圆形视场[图 3(a)]时, 由于相对圆心  $O_2$  呈中心对称, 所以发射器与接收器的位置变化不会影响成像面上光

能量的分布。当成像视场为方形视场[图 3(b)]时, 发射器与接收器相对位置的变化会影响成像面上光能分布的均匀性。

#### 3.3.1 圆形成像视场

由图 3(a) 的几何关系可得到圆心  $O_1$  的坐标  $x_1 = (d_0 - z \tan \theta) \cos \alpha_0, y_1 = (d_0 - z \tan \theta) \sin \alpha_0, z_1 = z$ , 其中,  $\alpha_0$  是向量  $O_2 O_1$  与  $x$  轴正方向的夹角, 圆  $O_1$  的半径为

$$r_1(z) = r_T + z \tan \alpha, \quad (8)$$

式中  $r_T$  是发射激光器的扩束镜半径。

圆  $O_2$  的半径为

$$r_2(z) = z \tan \gamma + D_0 / 2, \quad (9)$$

式中,  $\gamma$  为接收器的半视场角。发射视场与接收视场的重叠面积  $S(z)$  为

$$S(z) = \text{circ} \left[ \frac{\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}}{r_1(z)} \right] \times \text{circ} \left[ \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{r_2(z)} \right]. \quad (10)$$

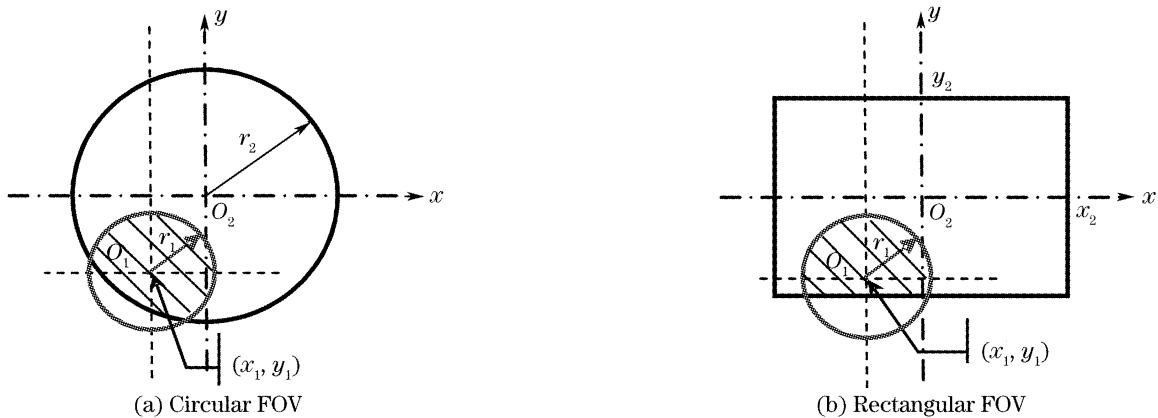


图 3 成像视场与照明视场的交叠情况

Fig. 3 Overlap of imaging field of view and field of illumination

#### 3.3.2 矩形成像视场

当为矩形视场时, 圆  $O_1$  的所有参量均与圆形视场时相同。重叠面积  $S(z)$  为

$$S(z) = \text{circ} \left[ \frac{\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}}{r_1(z)} \right] \text{rect} \left\{ \frac{x}{2x_2} \right\} \text{rect} \left\{ \frac{y}{2y_2} \right\}, \quad (11)$$

式中  $\text{rect} \left( \frac{x}{a} \right) = \begin{cases} 1, & |x| \leq a/2 \\ 0, & \text{other} \end{cases}$ ,  $x_2, y_2$  分别是矩形视场与  $x, y$  轴正方向的交点坐标值。

### 3.4 成像面上的后向散射光分布

$z$  轴上  $z \sim z + dz$  区域内后向散射光在成像面上的入射光照度  $E_{n,b}(x', y', z)$  为

$$E_{n,b}(x', y', z) = \iint_{\delta(z)} dI_r(\lambda, z) * h(x', y', z, x, y) \approx \beta(\pi)\gamma(\lambda) \frac{I_0(\lambda)D_0^2}{4z^4 r_0^2(z)} \tau_1^2(\lambda, z)\tau_2(\lambda) dz \times \iint_{\delta(z)} \text{circ} \left\{ \frac{\sqrt{[x' - (-nDx/z)]^2 + [y' - (-nDy/z)]^2}}{r_0(z)} \right\} dx dy, \quad (12)$$

能进入接收器的后向散射光的有效范围为

$$L_{\min} = z_t - z_0, \quad L_{\max} = z_t, \quad (13)$$

因此,成像面上后向散射光的总照度为

$$\bar{E}_{nb} = (x', y') = \int_{L_{\min}}^{L_{\max}} E_{nb}(x', y', z) dz, \quad (14)$$

考虑到探测器的离散特性,在成像面上 $(i, j)$ 探测单元接收的后向散射光能量 $Q_{nb}(i, j)$ 可表示为

$$Q_{nb}(i, j) = \min(t_p, T) \int_{-a/2-b/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \bar{E}_{nb}[(i+1/2)a, (j+1/2)b] dx' dy', \quad (15)$$

其中 $a, b$ 是探测器单元的长和宽, $T$ 为探测器的帧积分时间, $t_p$ 为脉冲激光照明的脉冲宽度。

### 4 成像面上目标与场景的表现衬比度

#### 4.1 成像面上目标和场景的反射光分布

设目标和背景面均是朗伯体,其反射光亮度 $L_i(z_t)$  ( $i = t, b$ )可表示为

$$L_i(z_t) = \frac{\rho_i E(z_t)}{\pi} = \frac{\rho_i}{\pi} \frac{I_0}{z_t^2} \tau_1(\lambda, z_t), \quad (16)$$

式中 $\rho_t$ 和 $\rho_b$ 分别为目标和背景的光谱反射率。在成像面上的照度为

$$E_i(z_t) = \frac{1}{n^2} \rho_i \tau_2 \tau_1^2(\lambda, z_t) \frac{I_0}{z_t^2} \frac{1}{4F^2 + 1}, \quad (17)$$

式中, $F = f'/D_0$ 为物镜 $F$ 数, $D_0$ 为通光孔径。

成像面 $(i, j)$ 探测单元接收的目标和背景反射光能量为

$$Q_i(i, j) = E_i(z_t) abt_p. \quad (18)$$

#### 4.2 成像面上的噪声分布

将接收器各环节的噪声以及环境散射光噪声都等效到入射端面,设噪声等效照度为 $E_{eq}$ ,则探测器光敏面噪声等效光能量为

$$Q_{nc}(i, j) = E_{eq} ab \max(t_p, T). \quad (19)$$

总的噪声可表为

$$Q_{nbc} = Q_{nb} + Q_{nc}. \quad (20)$$

#### 4.3 成像面上目标场景的表现衬比度

接收器接收景物的表现衬比度为<sup>[11]</sup>

$$C(i, j, z_t) = \frac{|Q_t(z_t) + Q_{nbc}(z_t) - [Q_b(z_t) + Q_{nbc}(z_t)]|}{Q_t(z_t) + Q_b(z_t) + 2Q_{nbc}(z_t)} = \left| \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t + \rho_b} \right| \frac{1}{1 + Q_{nbc}(z_t)/Q_{tb}(z_t)} = C_0(i, j) T_{sh}(z_t), \quad (21)$$

其中 $Q_{tb}(i, j) = [Q_t(i, j) + Q_b(i, j)]/2$ 为场景目标信号的平均值, $C_0(i, j)$ 为固有衬比度, $T_{sh}(i, j, z_t)$ 为后向散射的衬比度传递函数。一般认为:当 $C(i, j)$ 下降到2%时,探测距离达到最大值。此处因未考

虑成像系统的其它噪声以及传递特性,因此,在下面的分析中将探测阈值衬比度提高到5%。

### 5 水下成像特性的分析

基于后向散射光理论模型,可分析水下激光成像系统光敏面上后向散射光的分布以及系统的极限探测距离。表1给出模拟分析中水下激光成像系统的一些参量<sup>[10,12]</sup>。激光器采用脉冲照明,目标尺寸足够大且目标与场景的固有衬比度 $C_0 = 1$ ,光敏面半径为 $\phi$ 。

表1 水下激光成像系统的典型参量

Table 1 Typical parameters of underwater imaging system

Parameter	Value	Parameter	Value
$\lambda$ /nm	532	$F$	1.4
$r_T$ /mm	50	$\beta(\pi)$ /s <sup>-1</sup>	0.07
$\tau_2$	0.5	Pixel number	576×768
$\alpha(\lambda)$ /m <sup>-1</sup>	0.04	$Q$ /mJ	80
$\gamma(\lambda)$ /m <sup>-1</sup>	0.16	$\phi$ /mm	9
$d_0$ /mm	200	$t_p$ /ns	5
$f$ /mm	100	$V(\lambda)$	0.88
$E_{eq}$ /lx	$1.4 \times 10^{-5}$		

#### 5.1 位置关系对表现衬比度分布的影响

系统激光器与接收器的位置关系(图4)直接影响光敏面散射光分布及其均匀性。接收器采用增强

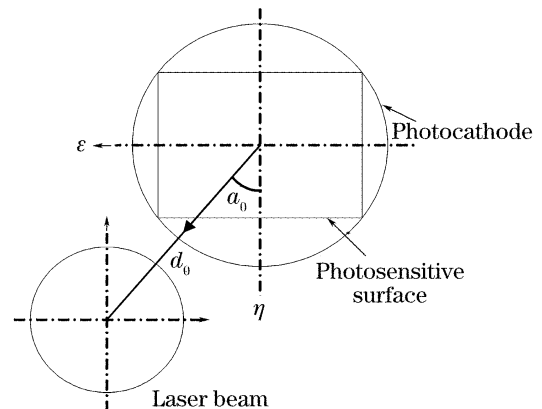


图4 接收器与发射器的位置关系图

Fig. 4 Position relation of receiver and emitter

型电荷耦合器件,  $\alpha_0$  是激光器中心与接收器中心的连线同  $\eta$  轴的夹角。由于对称性, 只需讨论夹角  $\alpha_0$  在第一象限的情况。图 5 给出固定目标距离  $z_t = 5$  m,  $\alpha_0 = 0^\circ$ 、 $45^\circ$  和  $90^\circ$  时有效光阴极面上后向散射光能量的分布图, 其分布形式与文献[13]中实验图像基本一致。可以看出: 光敏面上的后向散射光分布不均匀且分布随  $\alpha_0$  而不同, 由此将直接影响光敏面

目标场景的表现衬比度。图 6 给出光敏面表现衬比度均值和归一化均方差(用最大均方差归一化)随  $\alpha_0$  的变化曲线。可以看出: 虽然表现衬比度均值变化不大, 但归一化均方差随  $\alpha_0$  的增大而增大, 对成像均匀性不利。因此, 要提高成像视场的衬比度均匀性应减小  $\alpha_0$ , 即将激光器安置在矩形光敏面长边的上/下中轴线上。

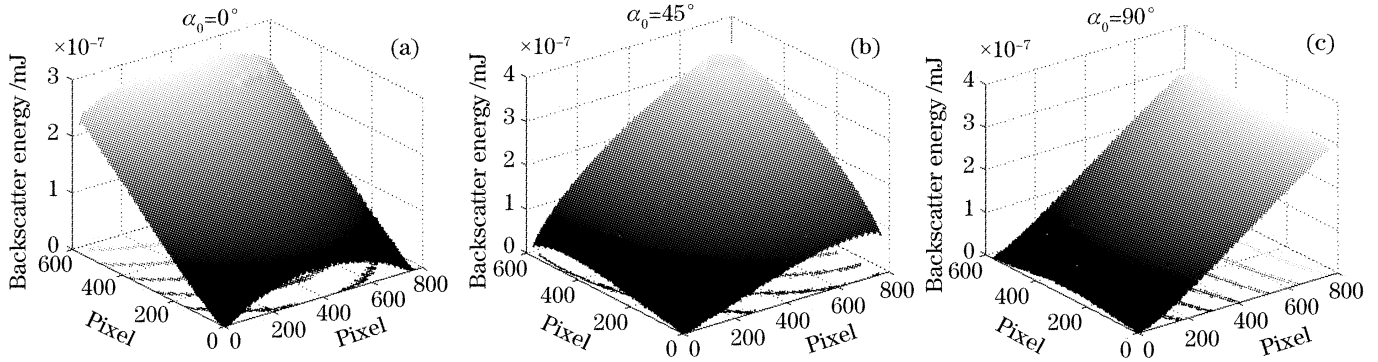


图 5 后向散射光能量分布图  
Fig. 5 Distribution of backscattering energy

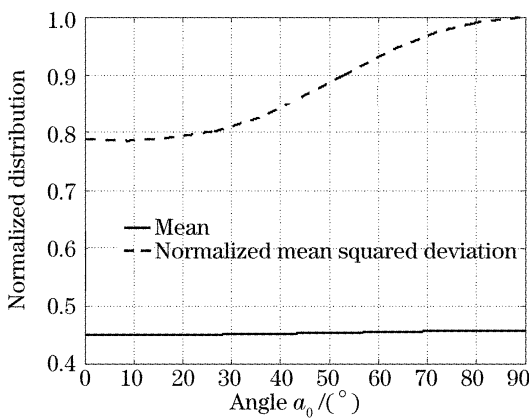


图 6 图 6 表现衬比度分布与  $\alpha_0$  的关系

Fig. 6 Apparent contrast distribution versus  $\alpha_0$

$d_0$  是影响表现衬比度分布的重要因素。图 7 给出表现衬比度分布均值和归一化均方差(用最大均方差归一化)随  $d_0$  的变化曲线。可以看出, 随着

$d_0$  增大, 衬比度均值增大, 而归一化均方差先增大后减小。由于距离  $d_0$  受到激光器和接收器的口径尺寸的限制, 当  $d_0 = 100$  mm 时, 本模拟中的激光器与接收器的距离仅有 20 mm, 所以两视场的重叠区域很大, 于是光敏面上散射光的分布较均匀, 衬比度均方差值很小; 同时, 散射光能量也最强, 衬比度均值也最小。随着  $d_0$  的增大, 两视场重叠区域体积迅速变小, 光敏面上散射光的分布随之变得更不均匀, 即衬比度的均方差值将增大, 但当  $d_0$  增大到一定程度以后(仿真条件下, 对应于  $d_0 > 250$  mm), 两视场重叠区域的体积减小速度又趋于缓和, 使散射光的分布趋于均匀, 衬比度的均方差值又逐渐减小。在  $d_0$  增大的整个过程中, 光敏面上散射光的均值始终减小, 因此表现衬比度的均值也始终增大, 有利于提高图像的质量。但  $d_0$  的增大会使到达目标的照明光束变得不均匀, 同时也受系统结构的限制, 且照明视场和成像视场需要配准控制, 故  $d_0$  的选取也不是越大越好。

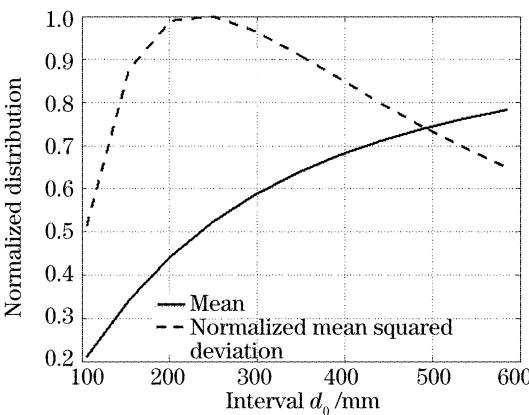


图 7 表现衬比度分布与  $d_0$  的关系

Fig. 7 Apparent contrast distribution versus  $d_0$

综上所述, 减小  $\alpha_0$  和适当增大  $d_0$  有利于改善成像系统的成像质量, 提高目标探测和分辨能力。

### 5.2 系统作用距离估算

作用距离是评价成像系统性能的重要参量之一。当  $C_0(i, j) = 1$  时,  $C(i, j)$  等同于衬比度传递函数。当衰减系数  $c$  在  $0.2 \sim 1 \text{ m}^{-1}$  变化时, 假设后向散射比例系数  $\beta(\pi) = 0.1c + 0.05$  [ $\beta(\pi)$  随  $c$  增大主要是考虑到多次散射的影响], 且  $\alpha/\gamma = 1/4$ 。图 8

给出了不同衰减系数  $c$  下,光敏面中心表观衬比度随目标距离  $z_t$  的变化曲线。可以看出,衰减系数  $c$  越大,表观衬比度衰减越快,这与实际情况相符。

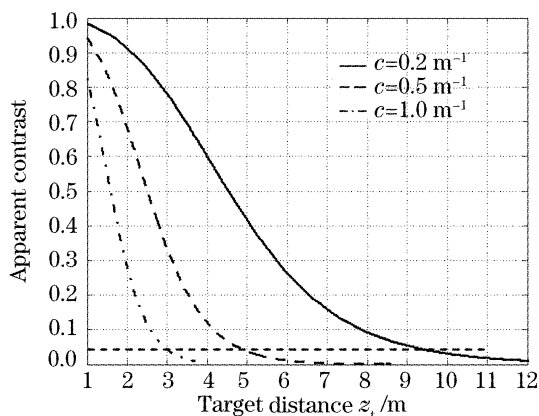


图 8 表观衬比度与目标距离  $z_t$  的关系

Fig. 8 Apparent contrast versus  $z_t$

采用 5% 的探测阈值衬比度,可计算系统探测距离。图 9 给出系统探测距离随衰减系数的变化关系。可以看出:当衰减系数  $c$  在  $0.2 \sim 1 \text{ m}^{-1}$  变化时,最远探测距离约为  $1.5 \sim 3$  个衰减长度 ( $1/c$ )。这与文献[1]中关于一般水下激光成像的极限探测距离约为  $1 \sim 3$  个衰减长度的结论基本一致,表明本文所提出理论模型的正确性。

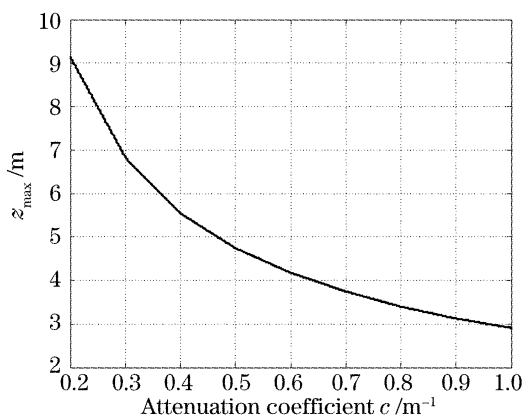


图 9 极限探测距离与衰减系数的关系

Fig. 9 Maximum detecting distance versus attenuation coefficient

## 6 结 论

本文基于探测器光敏面的二维离散结构特点,通过理论分析,建立了凝视型水下激光成像后向散射光在光敏面上的二维分布模型;通过一定的参量假设,模拟分析了激光器与接收器之间的位置关系对光敏面表观衬比度分布的影响,分析了水的衰减系数对系统极限探测距离的影响。模拟表明,水下激光成像系统极限探测距离可达到  $1.5 \sim 3$  个衰减长度,与文献[1]中结论相当。

本文模型适合于分析激光连续/脉冲照明条件下连续积分水下光电成像系统的作用距离及其影响因素,稍作改进也可以分析距离选通光电成像系统。若进一步结合水下光电成像系统最小可分辨衬比度(MRC)<sup>[14]</sup>模型,并通过实验确定水质对吸收散射的影响关系,则可为水下光电成像系统的优化设计提供理论指导和设计分析工具,同时,研究后向散射分布也可为后续数字图像处理去除其影响奠定基础。

## 参 考 文 献

- Jules S. Jaffe. Computer modeling and the design of optical underwater imaging system[J]. *IEEE J. Oceanic Engineering*, 1990, **15**(2): 101~111
- Georges R. Fourier, Denis Bonnier, J. Luc Forand *et al.*. Range-gated underwater laser imaging system[J]. *Opt. Engng.*, 1993, **32**(9): 2185~2190
- Lu Yimin, Zhang Feng, Chen Wenqe. On the photomultiplier tube (PMT) gain-control in the laser detection system for underwater object[J]. *Laser Applications*, 1995, **19**(4): 222~226 (in Chinese)  
卢益民, 张峰, 陈文革. 激光水下目标探测系统中的 PMT 变增益控制[J]. *激光技术*, 1995, **19**(4): 222~226
- Yao Chunhua, Chen Weibiao, Zang Huaguo *et al.*. Study of the capability of minimum depth using an airborne laser bathymetry [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(10): 1406~1410 (in Chinese)  
姚春华, 陈卫标, 臧华国等. 机载激光测深系统的最小可探测深度研究[J]. *光学学报*, 2004, **24**(10): 1406~1410
- Jens Busck. Underwater 3-D optical imaging with a gated viewing laser radar[J]. *Opt. Engng.*, 2005, **44**(11): 116001-1~116001-7
- Ching Seong Tan, Gerald Seet, Andrzej Sluzek *et al.*. A novel application of range-gated underwater laser imaging system (ULIS) in near-target turbid medium[J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2005, **43**(9): 995~1009
- Zhang Zhengyu, Zhou Shouhuan, Sui Xiaolin. Study on time-domain broadening of submarine laser pulse [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(7): 850~854 (in Chinese)  
章正宇, 周寿桓, 眭晓林. 激光脉冲水中传输时域展宽特性的分析计算[J]. *光学学报*, 2003, **23**(7): 850~854
- Wang Quandong, Chen Weibiao, Lu Yutian. Analysis of relationship between parameter choice of airborne laser bathymetry and maximum penetrability[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(10): 1255~1260 (in Chinese)  
汪权东, 陈卫标, 陆雨田. 机载海洋激光测深系统参量设计与最大探测深度能力分析[J]. *光学学报*, 2003, **23**(10): 1255~1260
- Yu Qianyang. *Active Imaging and Range gating* [M]. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, 2002 (in Chinese)  
于前洋. *主动成像与距离选通*[M]. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2002
- Xu Qiyang, Yang Kuntao, Wang Xinbing. *Blue-Green Lidar Ocean Survey* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002 (in Chinese)
- 徐啟阳, 杨坤涛, 王新兵. 蓝绿激光雷达海洋探测[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002
- Zhang Jingxian, Li Yudan, Jin Weiqi. *Low-Light Level and Infrared Imaging Technology* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1995 (in Chinese)  
张敬贤, 李玉丹, 金伟其. *微光与红外成像技术*[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995

- 12 Li Li, Gao Zhiyun, Wang Xia *et al.*. Optical backscatter calculations for an underwater range-gated imaging system[J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2003, **23**(4): 488~491 (in Chinese)  
李 丽, 高雅允, 王 霞. 水下距离选通成像系统后向散射光的计算[J]. 北京理工大学学报, 2003, **23**(4): 488~491
- 13 Duo-Min He, Gerald G. L. Seet. Laser gated-ranging for underwater robot vision in turbid waters[C]. *Proc. SPIE*, 2002,

- 4546**: 11~22
- 14 Li Shengcai, Jin Weiqi, Zhang Jianyong *et al.*. Electro-optical imaging system performance parameter MRC and its measurements[J]. *Infrared Technology*, 2004, **26**(6): 5~8 (in Chinese)  
李升才, 金伟其, 张建勇. 光电成像系统性能参数 MRC 及其测量方法[J]. 红外技术, 2004, **26**(6): 5~8

## 2007 亚洲光电子国际会议(Photonics Asia 2007)11 月将在京召开

由中国光学学会和国际光学工程学会(SPIE)联合举办的 2007 亚洲光电子国际会议(Photonics Asia 2007)将于 2007 年 11 月 11~15 日在中国北京召开。

大会主席是中国光学学会理事长周炳琨院士和 2007 SPIE 主席 Mr. Brian Culshaw。王大珩院士和母国光院士担任大会名誉主席。

亚洲光电子会议是亚洲最大的光学、光电子学学术交流和产业交流的盛会。会议将对学科的最新发展趋势、技术应用、产品发布、市场分析、投资调研等各类问题进行广泛的讨论和交流。会议将举行大会特邀报告、专题报告和高层专家报告会,会议附设光学和光电子学最新成果展览。

会议共设如下 22 个专题。

PA01: High Power Lasers

PA02: Semiconductor Lasers and Applications

PA03: Laser in Material Processing and Manufacturing

PA04: Optics in Health Care and Biomedical Optics

PA05: Quantum Optics and Applications in Computing and Communications

PA06: LED Materials and Devices

PA07: Advanced Materials and Devices for Sensing and Imagine

PA08: Advanced Sensor Systems and Applications

PA09: Nanophotonics, Nanostructure and Nanometrology

PA10: Holography, Diffractive Optics and Applications

PA11: Electronic Imaging and Multimedia Technology

PA12: Optical Design and Testing

PA13: Advances in Optical Data Storage Technology

PA14: Infrared Technologies and Applications

PA15: MEMS/MOEMS Technology and Applications

PA16: Information Optics and Photonics Technology

PA17: Optoelectronic Devices and Integration

PA18: Advanced Microlithography Technology

PA19: Nonlinear Optics and Applications

PA20: Terahertz Photonics

PA21: Solar Energy Technology and Application

PA22: Solid state lighting

会议论文将通过专家审稿,录用的文章将收录到 SPIE 论文集中。该论文集将被 EI, INSPEC, ISI, AIAA 以及其他重要学术检索刊物检索。

在线投稿网站 [www.spie.org](http://www.spie.org)。提交摘要和论文需同时发送到电子邮箱 [photoasia2007@gmail.com](mailto:photoasia2007@gmail.com), 邮件主题按照"专题号码-作者中文姓名-论文标题"编写。会议摘要截稿日期 2007 年 6 月 15 日。

会议国内网站: [www.coscn.org](http://www.coscn.org)

联系人: 翟 林 [zhailin@hotmail.com](mailto:zhailin@hotmail.com) Tel: 010-62641108, 13651149955

李翠玲 [cuilingli@bit.edu.cn](mailto:cuilingli@bit.edu.cn) Tel: 010-68912564, 13521121045

丁伯瑜 [dingboyu@sohu.com](mailto:dingboyu@sohu.com) Tel: 010-68912564, 13661197335

通信地址: 100081 北京海淀区中关村南大街 5 号北京理工大学光电工程系 李翠玲 丁伯瑜