

文章编号:1001-5078(2009)09-0986-05

· 图像与信号处理 ·

激光主动成像系统目标图像质量评价参数研究

戴得德^{1,2}, 孙华燕³, 韩 意¹, 樊 佳¹, 黄礼斌²

(1. 解放军装备指挥技术学院研究生院, 北京 101416; 2. 解放军 92854 部队, 广东 湛江 524005;

3. 解放军装备指挥技术学院光电装备系, 北京 101416)

摘 要: 图像质量评价是研究激光主动成像探测系统成像性能的重要内容, 文中从图像的噪声、灰度和纹理等方面对距离选通激光主动成像目标图像进行了量化评价。通过深入研究主动成像图像的特点, 建立了信噪比、亮度、对比度和清晰度等评价函数的参数模型, 并给出了实验结果和分析。结果表明, 这些参数能够对激光主动成像图像进行客观的评价, 并且计算简单, 具有显著性和独立性的特点。

关键词: 主动成像; 图像质量评价; 信噪比; 亮度; 对比度; 清晰度

中图分类号: TN24

文献标识码: A

Image quality assessment of laser active imaging system

DAI De-de^{1,2}, SUN Hua-yan³, HAN Yi¹, FAN Jia¹, HUANG Li-bin²

(1. Graduate School, Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China;

2. 92854 armed forces of PLA, Zhanjiang 524005, China; 3. Department of Photoelectric Equipment, Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China)

Abstract: Image quality assessment is essential to the research of imaging performance of laser active imaging system. The quality of laser active illumination image is quantitatively from three aspects of the image, namely noise, gray level and texture. After deeply study the characteristic of the images, the paper put forward the mathematics models of SNR, brightness, contrast and definition, and the experimental results and analysis are also given. Experimental results show that the quality of images can be evaluated by the parameters objectively, easily and independently.

Key words: active imaging; image quality assessment; SNR; brightness; contrast; definition

1 引 言

随着激光主动成像探测系统在军事和民用领域获得广泛应用, 选择合适的评价准则对系统的成像性能进行评估显得十分迫切。由于系统成像性能最终是以目标图像质量好坏的形式表现出来, 因此, 利用图像质量评价技术对激光主动探测系统的目标图像进行评价, 分析激光器参数、ICCD 和光学系统等系统自身参数对图像质量的影响, 为激光主动探测系统的参数选择、设计和结构优化提供有效的参考和依据, 从而有效地提高图像的利用率和对目标探测识别的可靠性。这方面的研究已经成为激光主动探测技术研究的重要内容。那么, 首当其冲的问题就是如何对目标图像质量进行准确有效的评价。

图像质量评价的核心问题是评价图像所能提供的信息的能力, 即图像可懂度评价^[1]。本文根据激光主动成像系统目标图像的特点, 从图像的噪声、灰度和纹理等特征信息出发, 建立了激光主动成像系统目标图像质量评价参数体系。

2 激光主动成像系统图像质量评价

2.1 激光主动成像系统图像特点

与可见光等其他波段图像相比, 激光主动成像系统图像由于主动成像的原理和成像设备的性能,

基金项目: 预研项目 (No. 51321090102) 资助。

作者简介: 戴得德 (1985 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为信号处理及光电信息处理。E-mail: daidede_163@126.com

收稿日期: 2009-03-04; 修订日期: 2009-05-23

有着其独有的特点:

1) 激光所具有的相干性和目标表面粗糙造成的散斑噪声、成像探测器 (ICCD) 以及大气传输、电子线路等因素使得图像噪声大, 信噪比很低;

2) 激光远距离主动成像中由于照射光强的不足, 导致图像对比度低;

3) 作为照明光源的激光器发射的光束质量不高, 导致图像照度不均;

4) 接收镜头的光学偏差以及光学系统对焦不准确等, 导致目标图像模糊。

以上种种因素, 都会影响激光主动成像图像的信噪比及灰度、纹理信息, 造成图像质量下降。

在激光主动成像目标图像中, 通常被探测目标只占整幅图像中某一部分。因此, 根据目标图像的特点进行区域划分, 如图 1 所示。区域分为: 目标分割区 S (人工分割的目标轮廓); 目标区 T; 局部背景区 B 为同一中心大于 T 的区域减去 T 后剩余部分。

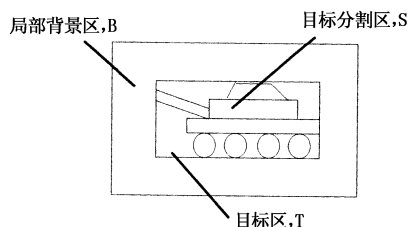


图 1 图像区域划分

2.2 图像噪声评价

2.2.1 信噪比

对于图像信噪比的计算来说, 其中关键的一步是如何估计图像噪声大小。对于场景亮度分布均匀的成像系统, 可用整幅图像的灰度分布方差作为对噪声方差特征的估计。然而激光主动成像图像不是亮度均匀场景的图像, 必须在图像中选择一块灰度分布比较均匀的小区域来估算整个图像的噪声方差。局域标准差法假定图像中灰度均匀区域占多数, 采用盲估计法由程序自动对整个图像进行噪声方差统计。因此, 可采用局域标准差法对激光主动成像图像的噪声进行评价。

局域标准差法^[2]首先把受噪声污染的图像分割成许多小块, 对每块估计噪声标准方差, 然后用某种方法选择其中一个比较合理的值作为实际噪声标准方差。由于激光主动成像图像的噪声^[3]是由很多机理引起的, 各种噪声性质也不一样, 图像位置可能会有不同的噪声大小, 因此只能用平均噪声强度来衡量。

在数字图像中, 由于强度和灰度在 ICCD 的响

应范围内满足线性关系, 可以由灰度级代替强度进行计算。利用目标区灰度均值与局域标准差之比计算图像的信噪比, 具体步骤如下:

1) 计算含噪图像中目标信号区域的灰度均值 M 。当目标布满了整个图像区域时, 整幅图像的灰度均值 m 即是目标区域灰度均值; 当目标仅为图像中某一部分区域时, 在图像中选取目标信号区域的灰度均值进行计算;

2) 将原图像按 4×4 (像素) 的大小进行分块, 计算出每个子图像块的局部标准差 LSD ;

3) 计算所有图像块标准差的平均值 LSD_m ;

4) 信噪比 $SNR = M/LSD_m$

2.2.2 实验与结果

为了验证该信噪比参数对距离选通激光主动成像目标图像进行评价的有效性, 在楼道里每隔 2 m 错开位置放置八个印有 1~8 数字的目标, 第一个目标距离成像系统 15 m, 实验场景如图 1(a) 所示, 通过距离选通激光主动成像系统进行成像实验。其中, 选用波长为 850 nm 的脉冲式激光器, 激光脉冲宽度为 100 ns, 输出功率为 12 W, 发散角约为 3 mrad, 选用北方夜视技术股份有限公司的 1XC18/18 WHS-G 选通型 ICCD。实验中连续采集该目标的 20 帧距离选通激光主动成像图像, 并从第 1 帧开始, 分别对前 2 帧、前 5 帧、前 10 帧和 20 帧图像进行时间域均值滤波, 得到图像如图 2 所示。

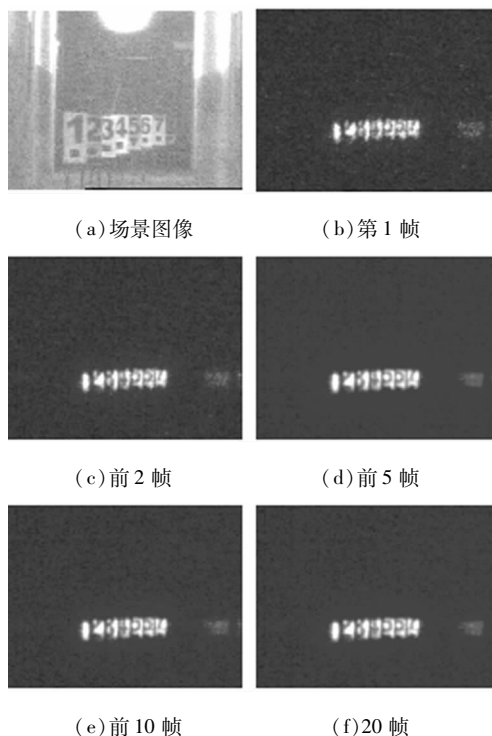


图 2 距离选通激光主动成像实验图像

计算图 2(b) ~ (f) 的信噪比,数据如表 1 所示。

表 1 不同目标图像的信噪比相关数据比较

图 2	m	M	LSD_m	SNR/dB
(b)	54.2204	142.9906	17.1511	33.2107
(c)	54.6705	147.6227	13.0632	41.3050
(d)	54.4582	148.9911	9.0727	51.7110
(e)	54.2994	149.2593	7.0282	58.9943
(f)	54.4023	150.5346	5.6423	65.3862

结论 1:从图像灰度均值 m 来看,多帧叠加平滑后的图像与单帧图像大致相同;而目标区域灰度均值 M 有所增加,同时图像块 (4×4) 标准差的平均值 LSD_m 明显减小,从而图像的信噪比增大,并且图像叠加的帧数越多,信噪比越大。这是由于采用了时间域均值滤波法使图像噪声平滑化,从而提高了图像的信噪比。上述实验数据说明该信噪比参数对目标图像的噪声量的评价是准确有效的。

2.3 图像灰度信息评价

对于图像来说,首先,适当的亮度是人们观察图像的前提条件;其次,由于激光主动成像系统目标图像的对比度较低,因而对比度评价也是图像质量评价的重要内容。本文从平均亮度和对比度两方面评价目标图像的灰度信息。

2.3.1 亮度评价

由于目标区集中了整幅图像的绝大部分信息,目标区亮度的强弱是影响激光主动成像图像质量及后续处理的重要因素,因此,图像亮度评价主要是针对目标区亮度的评价。通常认为灰度均值反映了图像的平均亮度,因而将它作为评价图像亮度的重要标准^[4]。

亮度评价的步骤为:①根据图像区域划分的定义,将目标区 T 从整幅图像中提取出来;②对目标区 T 进行直方图均衡化处理;③将目标区的平均灰度值与进行直方图均衡处理后的平均灰度值进行比较,计算出亮度失真度,如图 3 所示。

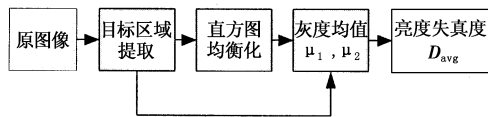


图 3 亮度评价示意图

设直方图均衡化前目标区的平均灰度值为 μ_1 , 进行直方图均衡化处理之后目标区的平均灰度值为 μ_2 , 定义图像的亮度失真度 D_{avg} 为^[5]:

$$D_{avg} = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{(\mu_1 - \mu_2)^2}{\sigma_1^2}\right) & 0 \leq \mu_1 < \mu_2 \\ 1 - \exp\left(-\frac{(\mu_1 - \mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right) & \mu_2 \leq \mu_1 < 225 \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\sigma_1 = 40, \sigma_2 = 60$ 。当 $\mu_2 < 100$ 时,取 $\mu_2 = 100$, 当 $\mu_2 > 150$ 时,取 $\mu_2 = 150$ 。 D_{avg} 在 $0 \sim 1$ 之间取值。在实际的亮度评价中,当亮度失真度 D_{avg} 大于某一设定的阈值 d 时,即 $\mu_1 > \mu_2$ 时认为图像过亮,反之当 $\mu_1 < \mu_2$ 时认为图像过暗, d 可取经验值。

实验获取相同目标且亮度各异的激光主动成像目标图像,如图 4 所示。计算直方图均衡化前后的目标区灰度均值进行亮度失真度评价。

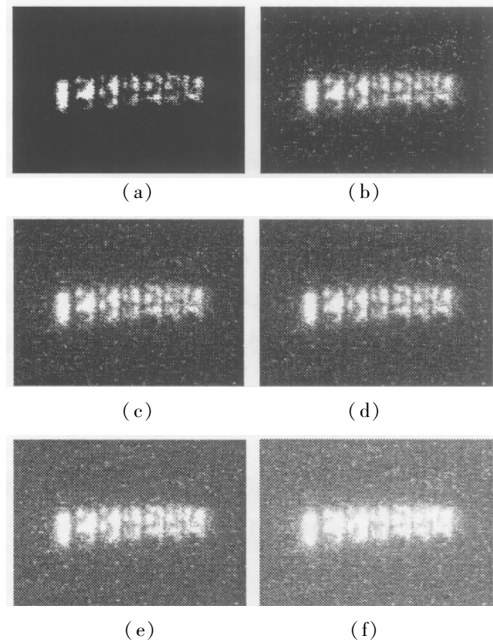


图 4 同一目标不同亮度的激光主动成像图像

对上述图像目标区域的灰度均值和直方图均衡化后均值进行计算,相关数据如表 2 所示。

表 2 直方图均衡化前后的目标区灰度均值及亮度失真度比较

图 4	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
μ_1	69.1442	118.2420	133.3490	141.9739	176.0283	209.0351
μ_2	131.0752	131.0882	131.0601	131.0118	130.9889	133.6603
D_{avg}	0.9090	0.0980	0.0015	0.0328	0.4308	0.7936

结论 2:从图 4 中目标区的亮度来看,图 4(a) ~ (f) 的亮度依次逐渐增大,其中图 4(a)、图 4(b) 的亮度偏暗,图 4(e)、图 4(f) 的亮度偏高,图 4(c) 和图 4(d) 的亮度相对适中。从表 2 中数据可以看出,在直方图均衡化处理之前,图 4(a) ~ (f) 的灰度均值 μ_1 逐渐增加,而从亮度失真度的大小变化来看,偏暗或偏亮图像的亮度失真度较大,亮度适中图像的失真度较小,即亮度失真度越小,图像的亮度越适中;亮度失真度越大,图像就偏暗或偏亮。这与对图像亮度主观评价完全一致,说明了该参数对图像亮度评价的有效性。

2.3.2 对比度评价

对比度可被认为是衡量目标区域灰度值与周围区域的平均灰度值差异的一个值。一般认为,图像对比度越高其感知质量越好。图像对比度有很多定义,为了评价目标与背景之间的差异程度,采用调制对比度对激光主动成像目标图像进行评价,定义如下:

$$C = \frac{|\mu_T - \mu_B|}{\mu_T + \mu_B} \quad (2)$$

如图1所示, μ_T 表示目标区域 T 内像素的灰度均值; μ_B 表示目标附近的背景区域 B 内像素的灰度均值。 C 的值越接近于1,说明目标与背景之间的灰度差异越大,图像对比度越好;反之则说明对比度较低。

图5所示的是激光主动成像系统获取的靶板图像(471×471);从图像中可以看出,图像的对比度从图5(a)~(d)依次增大。

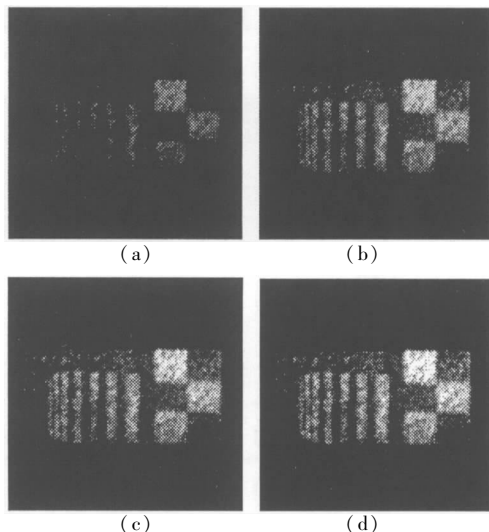


图5 激光主动成像靶板图像

对图5中所有图像对比度进行计算,相关数据如表3所示。

表3 不同靶板图像的对比度大小比较

图5	对比度C	图5	对比度C
(a)	0.2225	(c)	0.7746
(b)	0.5954	(d)	0.9076

结论3:从表3中可看出,图5(a)~(d)图像的参数值依次增大,与图像的信息完全一致;并且图像对比度的变化能够从评价参数的数值上显著的反映出来。因此,上述评价参数能够对激光主动成像目标图像的对比度有效的评价。

2.4 图像纹理信息评价

在激光主动成像图像中,目标纹理信息可以反映图像中物体的位置、形状、大小等特征,表征着多

个像素之间的共同性质。一般来说,它既是像素的分布规律,也有其变化的表征;既有像素本身的灰度取值,也有与其相邻邻域的空间关系,纹理信息已经成为图像质量评价的一项重要依据。

2.4.1 基于灰度共生矩阵的纹理信息评价

灰度共生矩阵(gray level co-occurrence matrix, GLCM)是通过研究灰度空间相关特性来分析纹理的一种重要方法,它建立在估计图像的二阶组合条件概率密度函数的基础上,通过计算图像中一定距离和方向的两个像素之间的灰度相关性,对图像的所有像素进行调查统计^[6-7]。

灰度共生矩阵是从图像 $f(x,y)$ 灰度为 i 的像素出发,统计与其距离为 D 、灰度为 j 的像素 $(x+Dx, y+Dy)$ 同时出现的概率 $P(i, j, D, \theta)$,用数学公式表示则为:

$$P(i, j, D, \theta) = \{ (x, y) | f(x, y) = i, f(x + Dx, y + Dy) = j \} \quad (3)$$

式中, $i, j = 0, 1, 2, \dots, L-1$; x, y 是图像中的像素坐标; L 为图像的灰度级数; N_x, N_y 分别为图像的行列数。 D 为位移量,一般取为1; θ 为两像素连线按顺时针与 x 轴的夹角,一般取为 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 。

为简单起见,在以下关于共生矩阵的表述中,略去方向 θ 和步长 D 。在纹理特征提取之前,先对共生矩阵做正规化处理:

$$p(i, j)/R \Rightarrow p(i, j) \quad (4)$$

其中, R 为正规化常数;当 $D=1, \theta$ 为 0° 时, $R=N_y(N_x-1)$,当 $D=1, \theta$ 为 90° 时, $R=N_x(N_y-1)$,当 $D=1, \theta$ 为 45° 或 135° 时, $R=(N_y-1)(N_x-1)$ 。

纹理信息评价常用的二阶特征量有:

1) 均匀性评价:角二阶矩(ASM)

$$ASM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} [p(i, j)]^2 \quad (5)$$

2) 清晰度评价:DEF

$$DEF = \sum_{n=0}^{L-1} n^2 \{ \sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^L p(i, j) \}, |i-j|=n \quad (6)$$

3) 信息量评价:熵ENT

$$ENT = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=1}^{L-1} p(i, j) \log p(i, j) \quad (7)$$

为获得旋转不变的纹理特征,需对灰度共生矩阵的结果作适当处理。最简单的方法是取同一幅图像的同一个特征参数在 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 方向上的平均值,这样处理就抑制了方向分量,使得到的纹理特征与方向无关。

2.4.2 实验与结果

由于目标区域的纹理特征信息对整幅图像质量的影响较大,因此计算目标区域的灰度共生矩阵,在

此基础上进行纹理信息评价,这样也避免了由于图像较大造成计算灰度共生矩阵时计算量过大的问题。

图6是实验采集标有123245678等八个数字靶板的激光主动成像目标图像,采用基于灰度共生矩阵的评价参数对所有图像的纹理信息进行评价(目标区域大小为 35×132)。通过计算,得到相应数据如表4所示。

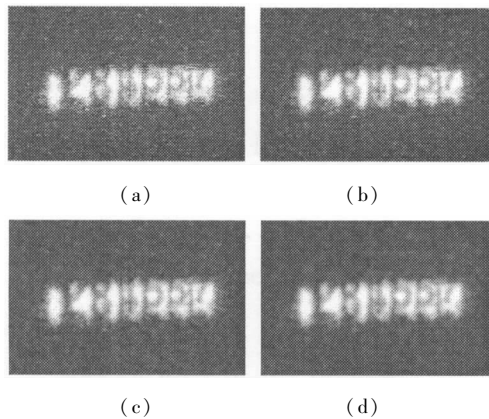


图6 激光主动成像系统的目标图像(12345678靶板)

表4 不同目标图像的二阶统计量参数比较

图6	(a)	(b)	(c)	(d)
角二阶矩	0.0464	0.0537	0.0590	0.0614
清晰度	121.036	104.815	92.423	86.481
熵	1.4616	1.3808	1.3228	1.2993

结论4:从图像清晰程度来看,图6(a)最清晰,图6(b)、图6(c)次之,图6(d)最模糊,表4中清晰度评价参数的值也依次减小;从灰度分布均匀性来看,图6(a)灰度分布最粗糙,纹理较粗,图6(d)最均匀,纹理较细致,表4中角二阶矩的变化也与之相符合;从熵值的变化看,图6(a)~(d)的值依次减小,表明图6(a)的信息量最大,图6(d)的信息量最小。

总的来看,随着图像越来越模糊,清晰度评价参数显著减小,同时,熵值也逐渐降低,而角二阶矩的值逐渐增大,说明随着图像模糊程度的严重,图像的信息量也越来越少,灰度分布逐渐趋于均匀。因此,对于相同目标的不同激光主动成像目标图像,虽然这三个特征参数都能表达纹理的某些特定信息,但存在信息冗杂、重复表述的问题。那么,考虑到评价参数的唯一性,采用清晰度评价参数对图像纹理信息进行评价。

至此,本文建立了一套针对激光主动成像系统目标图像的质量评价参数,评价体系主要分为三个方面:噪声、灰度和纹理信息评价,如图7所示。具体的评价参数有信噪比、亮度、对比度和清晰度。其中,利用目标区灰度均值与局域标准差之比计算图

像的信噪比,通过比较直方图均衡化前后目标区灰度均值来评价图像的亮度,采用灰度均值之比的局部对比度评价方法和基于灰度共生矩阵的二阶统计量的纹理信息评价方法,这些参数的计算简单,并且具有显著性和独立性的特点。

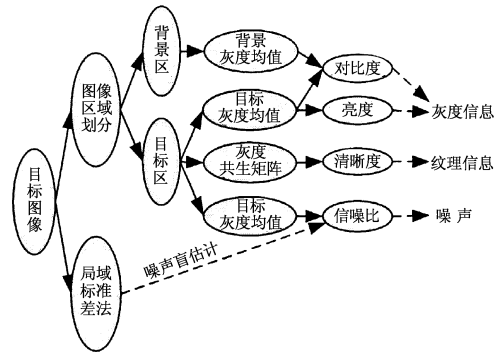


图7 激光主动成像目标图像质量评价参数体系

3 结论

本文根据激光主动成像系统目标图像的特点,通过大量实验验证了信噪比等评价参数对距离选通激光主动成像目标图像进行评价的有效性,从而建立了激光主动成像系统目标图像质量评价参数体系,这对于距离选通激光主动成像系统的成像性能研究是十分有意义的。在下一步工作中,将通过实验研究激光主动成像系统中激光器、ICCD和光学系统等参数中某一参数变化时对目标图像质量的影响,以及通过量化的图像评价参数绘制出该系统参数与系统成像性能之间的关系曲线的相关研究。

参考文献:

- [1] 汪孔桥. 数字图像的质量评价[J]. 测控技术, 2000, 19(5): 14-16.
- [2] 张旭升, 周桃庚, 沙定国. 数字图像噪声估计的方法及数学模型[J]. 光学技术, 2005, 31(5): 719-722.
- [3] 李自勤, 李琦, 王骥. 由统计特性分析激光主动成像系统图像的噪声性质[J]. 中国激光, 2004, 31(9): 1081-1085.
- [4] 李艳雯, 杨英宝, 程三胜. 基于亮度下滑滤波调节(SFIM)的SPOT5影像融合[J]. 遥感应用, 2007, 1: 63-66.
- [5] 郭保平, 张兆东. 盲图像质量评价在智能交通系统中的应用[J]. 交通信息与安全, 2009, 27(5): 157-160.
- [6] 王惠明, 史萍. 图像纹理特征的提取方法[J]. 中国传媒大学学报自然科学版, 2006, 13(1): 49-52.
- [7] Manjunath B S, Maw Y. Texture features for browsing and retrieval of image Data[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 8(18): 837-842.