

文章编号: 0258-7025(2008)02-0259-04

帧积分时间对微光电视观察视距的影响

朱 莹^{1,2} 常本康² 刘 磊²

(¹ 中国人民解放军理工大学理学院, 江苏 南京 210007; ² 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094)

摘要 微光成像系统在现代军事上起着越来越重要的作用, 成像系统的探测视距一直是人们关注的焦点。分析了视距探测方程, 提出了一种适用于慢运动目标的增大探测视距的方法——增加帧积分处理时间。基于修正的微光成像公式, 从理论上分析了增加帧积分处理时间对于微光电视探测距离的影响, 通过计算机模拟了不同照度下不同帧积分时间对探测视距大小的影响, 例如四帧累加时: 在 10^{-4} lx 时, 探测距离提高了 1.57 倍; 在 10^{-3} lx 时探测距离提高了 1.31 倍。通过在低照度下的现场实验数据验证了这种方法的可行性, 证明增加帧积分时间对提高视距有很大的作用。

关键词 光电子学; 微光夜视系统; 视距探测方程; 帧积分时间

中图分类号 TN 223 **文献标识码** A

Influence of the Frame Integral Time to Detecting Distance of Low Light Level-TV

Zhu Ying^{1,2} Chang Benkang² Liu Lei²

¹ Institute of Science, University of Science and Technology of People's Liberation Army, Nanjing, Jiangsu 210007, China
² School of Electronic Engineering and Optoelectronic Engineering,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China

Abstract The low light level (LLL) night vision system now plays a more important role in military affairs, and people always focus it on the detecting distance. This thesis analyzed the distance detecting equation, and brought forward a new way to increase the detecting distance suitable for low speed object. This method is multiplying the frame integral time. Based on the revised apparent distance detecting equation, the affect of the frame accumulation to the detecting distance was studied. The influence of the frame accumulation on the detecting distance at different illumination intensities was analyzed theoretically. At about 10^{-4} lx and 10^{-3} lx, it can raise the distance to 157% and 131%, respectively. The field experiment at weak illumination showed that this method was effective.

Key words photoelectronics; low light level night vision system; apparent distance detecting equation; frame integral time

1 引 言

微光成像系统发展于 20 世纪 60 年代, 其工艺成熟、造价较低、构造简单、体积小、重量轻、耗电省且像质较好。在军事和民用领域, 微光成像系统主要优点是不用人工照明, 以被动方式工作, 自身隐蔽性好。微光成像系统视距探测性能的研究, 首先是从微光视觉理论和理想成像系统开始的。由于微光成像系统视距的探测性能与目标背景特性、大气传

输、光学系统和像增强器的性能, 特别是与人眼的视觉特性等许多环节密切相关, 影响因素之多和相互关系之复杂, 使得人们在研究时不得不把条件一再简化和理想化, 于是实际的微光成像系统首先被简化为理想成像系统来研究。

A. Rose 于 1948 年导出理想成像系统的探测方程^[1], 奠定了理想成像系统和微光视觉的理论基础, 其后由 J. W. Coltman^[2] 和 E. A. Richards^[3]

收稿日期: 2007-05-30; 收到修改稿日期: 2007-10-29

作者简介: 朱 莹 (1983—), 女, 江苏人, 硕士研究生, 主要从事图像处理方面的研究。E-mail: zying_0425@163.com

导师简介: 常本康 (1950—), 男, 江苏人, 教授, 主要研究方向为光电子物理与技术、物理电子学与应用研究、物理电子器件与系统。E-mail: bkchang@mail.njust.edu.cn

又作了进一步发展。为了克服理想成像系统探测方存在的局限性和不足之处,国外的 E. A. Richards^[3]以及国内的艾克聪等^[4,5]对理想成像系统的探测方程作了进一步修正和改进,以使其尽量与实际相一致,从而导出了许多不同形式实际成像系统的探测方程。

本文在修正了的视距方程的基础上,从理论上研究了在不同照度下,增加积分时间对增大视距的作用,并且用现场实验来验证了这一思想。

2 视距方程

在不考虑大气影响的情况下,系统视距取决于像增强器系统相应照度下的极限空间分辨率。设目标的尺寸为 H_t ,目标到系统的距离为 R_L , N_e 为根据视觉观察水平的 Johnson 准则^[6]确定的空间分辨率,如表 1 所示。则系统相应的分辨角为^[7]

$$\theta = \frac{H_t}{N_e R_L} \quad (1)$$

表 1 视觉观察水平的 Johnson 准则

Table 1 Johnson criterion of vision observation level

Observation level	Definition	Line pairs needed N_e
Detection	Detecting a target in the visual field	1.0 ± 0.25
Recognition	Classifying the target (such as tank, truck, human etc.)	4.0 ± 0.8
Identification	Distinguishing the type or other charcter of the target (such as T-72 tank, leopard II tank etc.)	6.4 ± 1.5

而像增强器所能达到的最小分辨角 θ 由物镜焦距 f'_0 和像增强器光电阴极的分辨率 A_K 决定,从而有

$$\frac{H_t}{N_e R_L} = \frac{1}{A_K f'_0} \quad (2)$$

$$R_L = \frac{A_K f'_0 H_t}{N_e} \quad (3)$$

可见,微光成像系统的视距取决于像增强器的性能,即系统空间分辨率。分辨率越高,系统分辨景物的能力越强,探测目标距离就越远。

经过目标长宽比、大气透过率、对比度衰减、反射率及光谱匹配等一系列系数修正后,微光夜视系统的空间分辨率 A_K 为^[6,8~12]

$$A_K = 0.716 \times 10^3 \frac{C_0 C_d M(A_K) D}{\Phi_{\min} f'_0 \beta(G)} \times \left[\frac{S_A \alpha_t \epsilon \bar{\rho} E_0 \tau_0 \tau_d}{F_\Phi} \right]^{1/2} \quad (4)$$

式中 C_0 为目标与背景的初始对比度; C_d 为大气对比衰减系数; $M(A_K)$ 为调制传递函数; D 为物镜直径; S_A 为光电阴极的积分灵敏度; α_t 为从标准光源转换到对景物反射辐射的转换系数; t 为积分时间; ϵ 为目标长宽比; E_0 为夜天空照度; $\bar{\rho}$ 为景物的平均反射率; τ_0 为物镜透过率; τ_d 为大气透过率; Φ_{\min} 为阈值信噪比; F_Φ 为像增强器的噪声功率因子; $\beta(G)$ 为人眼分辨角与在照度为 1000 lx 时的人眼分辨角之比。

3 实验过程

从(4)式可以看出,通常增大微光夜视仪视距的途径有:1) 增大物镜直径,尽可能多地利用来自目标的辐射能。但不能过分增大物镜直径,因为它会使系统体积、重量和成本增大,工艺变复杂。2) 改善目标与背景的对比度。实际上目标与背景的对比度是客观存在的,无法改变,但可利用有良好对比度的区域。3) 提高输入光电阴极的积分灵敏度,这可以通过改进光电阴极的材料和工艺来达到目的。4) 减小噪声功率因子是增加视距的一个重要途径。目前人们在提高光电阴极的积分灵敏度方面所做的研究比较多,通过改善器件性能,达到增大视距的效果。

同样也可以看出,积分时间也是影响探测距离的一个重要因素。从理论上来说,通过增加积分时间来增大视距是比较容易实现的。但这种方法存在局限性,当目标相对于背景的运动速度较快时,增加积分时间会形成图像的拖尾现象,影响图像质量。而当目标的运动速度较慢时,就可以采用这种方法来增大观测视距。

3.1 计算机模拟

模拟了在不同照度情况下,通过改变积分时间得到不同的视距值。

1) 模拟条件^[6]

a. 环境照度:分别选取了 10^{-5} lx, 2×10^{-5} lx, 5×10^{-5} lx, 10^{-4} lx, 2×10^{-4} lx, 5×10^{-4} lx, 10^{-3} lx, 2×10^{-3} lx, 5×10^{-3} lx, 10^{-2} lx, 2×10^{-2} lx, 5×10^{-2} lx, 10^{-1} lx 13 种情况;

b. 大气条件:能见度良好,视距在 0.5 km 以内,大气透过率 $\tau_d = 0.9$;

c. 目标选择:以穿军装的人为目标;

d. 物镜参数:直径 $D = 18$ mm, 焦距 $f'_0 = 26$ mm, 透过率 $\tau_0 = 0.8$;

e. 像管参数:光电阴极对标准光源的积分灵敏度 $S_A = 600$ μ A/lm, 噪声功率因子 $F_\Phi = 2$, 最大增

益 $G = 22000$;

f. 与人眼有关的参数: 取人眼的阈值信噪比 $\Phi_{\min} = 2$;

g. 与目标有关的参数: 目标尺寸 $H_t = 0.5$ m (为人的肩宽), 就发现、识别和看清而言, 识别状态是最重要的, 因为它标志着观察者超过发现值的一个最小信息量, 所以计算夜视系统的识别距离, 取空间分辨率 $N_e = 4$, 长宽比 $\epsilon = 28$;

h. 光谱分布参数: 根据夜天空辐射光谱分布曲线, 景物的光谱反射系数, 光电阴极的光谱响应曲线以及相对视见函数 $V(\lambda)$, 标准光源的相对光谱分布 $A(\lambda)$, 就可以得到在不同光照下的光谱分布参数。

2) 模拟结果

(4)式适用于直视式成像系统, 即经过像增强器后直接用人眼观察。通常现在的成像系统是在像增强器后加一 CCD 耦合, 在微光电视上输出视频图像。

在本实验中, 忽略 CCD 器件本身的特性, 把它看作是理想器件。CCD 摄取一帧图像的时间为

0.04 s, 我们从 0.04 s 开始积分到 1 s 的时间, 即最多有 25 帧累加。结果如图 1 所示。

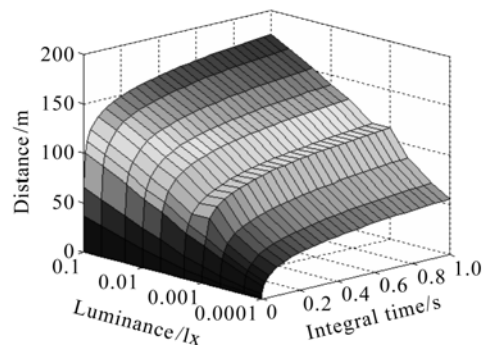


图 1 不同照度、不同积分时间下的视距变化
Fig. 1 Transformation of the distance in different luminances and integral times

在实际应用中, 通常采用较多的是偶数帧累加如二帧、四帧图像累加。表 2 比较了在不同照度情况下, 无操作、二帧累加和四帧累加视距大小的变化情况。

表 2 无操作、二帧、四帧处理时的视距比较

Table 2 Comparison of the detecting distance of no operation, two frames and four frames accumulation

Luminometer E_0 /lx	Distance of 0.04 s (R/m)	Distance of 0.08 s (R/m)	Multiply of two frames integral	Distance of 0.16 s (R/m)	Multiply of four frames integral
10^{-5}	3.5	4.8	1.38	6.6	1.89
2×10^{-5}	6.2	8.5	1.37	11.4	1.84
5×10^{-5}	12.5	16.4	1.31	21.3	1.71
10^{-4}	20.6	26.2	1.27	32.8	1.59
2×10^{-4}	29.3	36.2	1.24	44.0	1.50
5×10^{-4}	42.5	50.9	1.20	59.9	1.41
10^{-3}	53.5	62.6	1.17	72.3	1.35
2×10^{-3}	63.1	72.8	1.15	83.0	1.32
5×10^{-3}	77.6	86.9	1.12	97.5	1.26
10^{-2}	88.9	99.5	1.12	110.5	1.24
2×10^{-2}	98.6	109.5	1.11	120.7	1.22
5×10^{-2}	113.3	124.5	1.10	135.8	1.20
10^{-1}	122.6	133.9	1.09	145.4	1.19

3.2 现场实验

实验环境为关了灯的室内走廊, 时间为 23 点左右, 照度很低, 以上身穿浅色外套, 下身穿深色裤子的人为目标, 从微光电视前面开始向远处移动。

为了更好地比较延长积分时间对视距的影响, 选择了一小块含有部分目标的区域进行了两帧、四帧累加实时处理。

实验中, 实验照度很低, 环境噪声比较大, 目标的清晰度不高。因此, 在确定不同操作下的最大探测距离时, 选择能识别出目标轮廓 ($N_e = 4$) 的位

置。同时, 因为随着距离的增大, 图像中的目标是一个逐渐变模糊的过程, 对于取到最大视距的时刻, 并无法进行准确的定位。所以, 在选择位置时, 只能进行一个估测。

图 2 为实验过程中采集的不同操作时的图像。

图 2(a) 为没有进行任何操作时能观察到的最远的图像, 从微光电视到目标的距离约为 7 m, 图像比较模糊, 这说明当时实验的照度很低; 图 2(b) 为对目标区域进行了两帧累加后最近视距处采集的图像, 探测距离为 9 m 左右; 图 2(c) 为进行了四帧累加

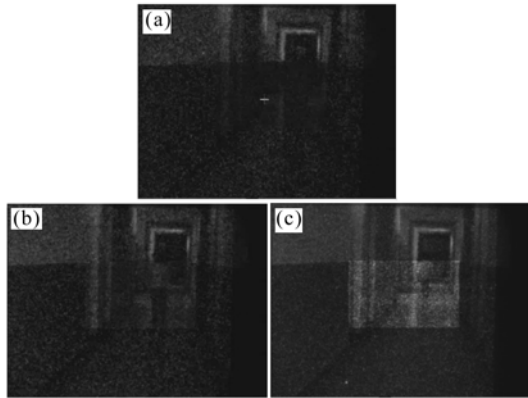


图2 现场实验图像

(a) 无操作;(b) 两帧累加;(c) 四帧累加

Fig. 2 Images of field experiment. (a) no operation;

(b) two frames integral; (c) four frames integral

处理后达到最大观测距离处的图像,这时的视距约为12 m。表3为估测的图2三幅图的最远观测距离。

表3 测量的视距值

Table 3 Values of measured distance

	No operation	Two frames integral	Four frames integral
Distance /m	7.2	9.3	12.2
Increased multiply	1	1.29	1.7

观察实验得到的数值与表2中理论测算的数值进行比较,从增加的倍数角度来分析,实验中两帧累加和四帧累加视距增加的倍数分别为1.29和1.7倍;当照度在 5×10^{-5} lx,理论计算时两者分别对应于1.31和1.71倍;从测量的距离来看,实验测量的数据介于照度为 2×10^{-5} lx和 5×10^{-5} lx时的数据之间。当时实验环境的照度很低,约为 10^{-5} lx量级,在误差允许的范围内,可以认为理论计算与观察实验是一致的。

4 结论

通过改变积分时间和照度的模拟和实验结果分析,可以得到以下结论:

1) 在相同照度下,增加积分时间,视距值有了明显的增加。但当积分时间达到一定数值时,视距增加的幅度变的较为平缓。

2) 在不同的照度下,增加同样的积分时间,可以发现,照度越低时,视距增加的倍数越大。

因此,在用微光电视进行观察的时候,适当增加积分时间对提高探测距离有很大作用。

参考文献

- 1 A. Rose. The sensitivity performance of the human eye on an absolute scale [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1948, **38**(2):196~208
- 2 J. W. Coltman. Scintillation limitations to resolving power in imaging devices [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1954, **44**(3):234~237
- 3 E. A. Richards. Limitations in optical imaging devices at low light levels [J]. *Appl. Opt.*, 1969, **8**(10):1999~2005
- 4 Ai Kecong. Reserch on the threshold detecting theory and apparent distance detecting equation of LLL imaging system [J]. *Journal of Applied Optics*, 1994, **15**(4):21~28
艾克聪. 微光成像系统的阈值探测理论和视距探测方程的研究 [J]. *应用光学*, 1994, **15**(4):21~28
- 5 Ai Kecong, Zhou Liwei, Zeng Guilin *et al.*. Reserch on the new threshold detection theory and apparent distance detecting equation for low light level imaging system [J]. *Journal of Applied Optics*, 2002, **23**(5):1~5
艾克聪,周立伟,曾桂林等. 微光夜视系统新的阈值探测理论与视距探测方程研究[J]. *应用光学*, 2002, **23**(5):1~5
- 6 Liu Lei. Visual range evaluation of LLL night vision system with laser illuminator [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2005, 4:28~59
刘磊. 激光助视/微光夜视系统视距评估研究[D]. 南京:南京理工大学, 2005, 4:28~59
- 7 Li Yuan. LLL the vision simulation and distance evaluation of night vision system [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004, 6:23~25
李元. 微光夜视仪性能仿真与视距评估系统[D]. 南京:南京理工大学, 2004, 6:23~25
- 8 Liu Lei, Chang Benkang. The revised formula for visual range of low level imaging system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(6):761~765
刘磊,常本康. 微光成像系统视距理论公式的修正[J]. *光学学报*, 2003, **23**(6):761~765
- 9 Di Huige, Zhao Shuang, Qian Yunsheng *et al.*. The affect of luminance gain to visual range of LLL night vision apparatus [J]. *Infrarad Technology*, 2004, **26**(6):27~30
狄慧鸽,赵爽,钱芸生等. 亮度增益对夜视仪视距的影响[J]. *红外技术*, 2004, **26**(6):27~30
- 10 Di Huige, Liu Lei. The research of spectral matching factors under the laser aids [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(2):214~216
狄慧鸽,刘磊. 激光助视下,光谱匹配系数的研究[J]. *光子学报*, 2006, **35**(2):214~216
- 11 Di Huige, Qian Yunsheng, Zhao Shuang. Research for visual range of low level imaging system under the laser aids [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(10):1357~1360
狄慧鸽,钱芸生,赵爽. 微光夜视系统在激光助视下的视距研究[J]. *光学学报*, 2005, **25**(10):1357~1360
- 12 Liu Lei, Chang Benkang, Li Wei. Visual range of low light level night vision goggles for drivers [J]. *Acta Armamentarii*, 2003, **24**(3):342~346
刘磊,常本康,李蔚. 微光夜间驾驶员探测距离研究[J]. *兵工学报*, 2003, **24**(3):342~346