

④ 285-289

像增强型夜视系统的图像信息传递

周建勋 王利平 徐志良

(南京理工大学电光学院光电技术系, 江苏, 南京, 210094)

TN220.1

摘要 在分析了像增强夜视系统信息传递的基础上, 指出像增强器输出端荧光屏至人眼的图像传递过程, 构成了像增强夜视系统信息传递量的限制. 提出了采用系统信息传递量作为夜视系统设计及评价的方法, 利用这种方法可以发现在像增强器增益足以补偿光谱通道衰减的条件下, 采用彩色像增强可以大幅度增加夜视系统传输的信息量.

关键词 图像增强, 夜视系统, 信息量, 传输.

信息传输

引言

图像增强技术是实现低光照度下直接观察的重要手段之一, 其发展核心是不断提高像增强器增益, 以满足低照度下光电成像要求. 图像增强技术的发展经历了三个阶段, 即以多碱光电阴极为代表、以微通道板为代表及以负电子亲和势阴极为代表的三个发展阶段. 其核心技术都是为了提高夜晚低照度图像亮度增益水平, 使之适应人眼的亮度观测范围^[1,2]. 经过长期的努力, 现在夜晚低照度图像的亮度增益已经能够达到和超过人眼观测所需的最佳亮度范围. 在此基础上, 图像增强技术开始了向夜晚图像观测效果最佳化方向发展的进程, 比较典型的技术方案是对像增强电视成像系统采用光谱滤波和多光谱图像的融合技术^[3,4]. 为了使这类工作更具有普遍意义, 本文从像增强夜视系统的图像信息传递过程入手, 对像增强器的发展提出了新的观点.

1 像增强器在夜视图像传输中的作用

1.1 夜间图像的能量信息特征

景物的光学图像一般采用景物辐射亮度的光谱分布 $L(X, \lambda, t)$ 描述, 它是景物空间坐标点 X 、空间方向、时间和光波长 λ 的函数. 图像的光信息特征包含在 $L(X, \lambda, t)$ 随空间点、空间方向、时间和光谱的变化之中, 一般情况下可以认为图像光信息的空间点、空间方向、时间和光谱信息特征之间各自独立无关, 可分别考虑.

对任意时间 t 和任意空间位置 X , 如果把辐射能量的量子涨落分布 $\delta(\lambda)$ 作为该状态下景物辐射亮度光谱分布 $L(\lambda)$ 的最小可衡量单位, 则景物在单位面积、单位立体角、单位波长间隔和单位时间间隔内给出的最大信息量可以表示为

$$P(\lambda) = \prod_{\lambda} \frac{L(X, \lambda)}{\delta(\lambda)} \Delta\lambda, \quad (1)$$

式(1)中

$$L(X, \lambda) = \rho(X, \lambda)E(X, \lambda), \quad (2)$$

式(2)中 $\rho(X, \lambda)$ 为景物光谱反射系数; $E(X, \lambda)$ 为夜晚光辐射照度; $\delta(\lambda)$ 为辐射能量的量子涨落分布。

景物光谱反射系数 $\rho(X, \lambda)$ 与具体景物相关, 而与夜晚环境无关. 表 1 给出了不同自然条件下地面景物的照度值. 从表 1 中可以看出, 夜晚光辐射照度在量值上与白天有明显的差别, 强度特征构成了夜晚图像 $L(\lambda)$ 信息与白天的主要区别。

表 1 不同自然条件下地面景物照度

Table 1 The ground surface optical illuminance in different conditions

天气条件	景物照度(lux)	天气条件	景物照度(lux)
无月浓云	2×10^{-4}	满月晴朗	2×10^{-1}
无月中等云	5×10^{-4}	微明	1
无月晴朗(星光)	1×10^{-3}	黎明	10
1/4 月晴朗	1×10^{-2}	黄昏	1×10^2
半月晴朗	1×10^{-1}	阴天	1×10^3
满月浓云	$2 \sim 8 \times 10^{-2}$	晴天	1×10^4
满月薄云	$7 \sim 15 \times 10^{-2}$		

如果暂不考虑 $L(\lambda)$ 的空间和时间特征, 在夜晚条件下, 人眼所能获得的最大光量信息量 P_{\max} 可以表示为

$$P_{\max} = \frac{R_L \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \rho(X, \lambda) E(X, \lambda) V'(\lambda) d\lambda - E_{\min}}{\sqrt{\bar{\delta}^2 + \delta_m^2}}, \quad (3)$$

式(3)中 λ_1, λ_2 为人眼光谱响应范围; $\bar{\delta}$ 为辐射能量的平均量子涨落; $V'(\lambda)$ 为人眼暗视觉光谱光视效能; E_{\min} 为人眼等效光能量响应阈值; δ_m 为人眼噪声等效光能量; R_L 为人眼光亮度响应率。

表 2 给出了人眼的分辨角随照度的变化情况^[5], 从表 2 可以看出照度的变化对人眼的分辨力有很大影响, 夜晚的分辨力约比白天小 25 倍. 当夜晚光辐射照度 $E(X, \lambda)$ 小到一定程度 ($< 10^{-3}$ lux) 后, R_L 迅速减小, 并可能使

表 2 人眼的分辨角随照度的变化

Table 2 The resolution angle of human eyes α optical illuminance

照度(lux)	分辨角(')	照度(lux)	分辨角(')
10^{-4}	50	1	1.5
10^{-3}	17	10	0.9
10^{-2}	9	10^2	0.8
10^{-1}	3	10^3	0.7

$$R_L \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \rho(X, \lambda) E(X, \lambda) V'(\lambda) d\lambda - E_{\min} < 0 \quad (4)$$

成立, 式(4)表明当景物光亮度降低到一定值后人眼将无法获得景物的光图像信息。

1.2 像增强器的光能量信息传输描述

如果把像增强器作为一个整体, 它对景物光亮度的传输作用可以表示为

$$L_I(X) = K_I \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} L(X, \lambda) R_c(\lambda) d\lambda + L_0, \quad (5)$$

式(5)中 $R_c(\lambda)$ 为光阴极的光谱响应函数; λ_1, λ_2 为光阴极的光谱响应范围; K_I 为像增强的亮度增益; L_0 为像增强器的本底亮度; $L_I(X)$ 为经过增强后的景物光亮度。

景物光亮度 $L(X, \lambda)$ 经过增强后, 它所包含的光量信息将由 P_{\max} 转变为 P'_{\max}

$$P'_{\max} = \frac{R_L \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} L_I(X) V(\lambda) d\lambda - E_{\min}}{\sqrt{\delta^2 + \delta_m^2 + \delta_I^2}}, \quad (6)$$

式(6)中 δ_I 为像增强器噪声等效光能量。

只要像增强器的亮度增益 K_I 足够高(一般在 100~1000 倍), 即可以使

$$R_L \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} L_I(X) V(\lambda) d\lambda - E_{\min} > 0, \quad (7)$$

即: 低照度图像经过像增强后, 只要像增强器的增益 K_I 足够高, 人眼能够获得的最大光量信息可以增加, 这就是像增强器能够提高夜晚图像识别能力的一种表示。

2 夜视系统评价的信息量观点

通常夜视系统的最终信息接收体是人眼, 从一种完整的信息传输角度看, 夜视系统设计的最终目的应该是增加全系统在低照度条件下所传输的光信息量, 即夜视系统的设计除了围绕增加 P'_{\max} 外还应该考虑增加在 P'_{\max} 中最终能够为人眼所接受的光信息部分 P''_{\max} 。

夜视系统中光能量信息传输的最后过程是像增强器到人眼的信息传输过程, 像增强器荧光屏到人眼所能传输的最大信息量 P 应该成为指导夜视系统设计的一个重要技术指标。当 $P'_{\max} < P$ 时, 夜视系统的设计应该围绕增加 P'_{\max} , 这就是现有像增强技术发展的核心思想——提高像增强器的亮度增益。一旦像增强技术的发展满足 $P'_{\max} > P$ 要求时, 特别是 $P'_{\max} \gg P$ 时单纯增加 P'_{\max} 已经不能增加夜视系统所传输的信息总量, 此时人们的研究重点部分转向控制 P'_{\max} 中有效信息的传输(如现有夜视系统中像增强器的增益调整、显示器亮度或对比度改变等技术措施), 但由于人们所需要观测的目标图像信息并不固定, 因此如果需要在 P'_{\max} 中进行有效信息的选择与传输控制将是一件非常困难的事情, 我们应该在增加 P'_{\max} 的同时探索提高像增强器到人眼所能传输的最大信息量 P 的技术途径。

3 像增强夜视系统的发展方向

我们知道人眼从彩色图像上获得的光能量信息量是黑白图像的 $10^3 \sim 10^4$ 倍^[6], 提高像增强器到人眼所传输的最大信息量 P 的有效技术途径应该是充分利用人眼的彩色图像视

觉,实现夜视图像的彩色显示.

实现彩色图像显示的技术方案有二种,第一种方案为图像积分探测和积分探测信号的灰度彩色编码显示,即在式(5)中 (λ'_1, λ'_2) 取为光阴极的全部光谱响应范围,并对探测信号 $L_I(X)$ 进行灰度彩色编码显示.在该方案中,图像的真实光谱信息经过积分探测后,被加权积分转变图像的亮度信息,从数学原理上看无论采用何种彩色编码方案均无法恢复已经失去的图像光谱信息.即该方法在增加像增强器到人眼所传输的最大信息量 P 的同时,也将引入无法回避的由灰度彩色编码所形成的目标识别问题.由于该方法与人们日常目标识别常识不相符合,因此很难在实际像增强图像探测系统中采用.

实现彩色图像显示的第二种方案为图像的波段积分探测和波段探测信号的彩色显示.即同时采用多个不同光谱响应波段的光电成像器(一般取三个)并把不同波段的探测信号对应不同的彩色进行图像显示.此时各波段光电成像器对景物光亮度的传输作用可以分别表示为

$$L_I(X, \Delta\lambda) = K_I \int_{\Delta\lambda} L(X, \lambda) R_i(\lambda) + L_0, \quad (8)$$

式(8)中 $\Delta\lambda_i$ 为受控制的像增强器响应波段, $\Delta\lambda_i \subset (\lambda'_1, \lambda'_2) (i=1, 2, 3)$.

将式(8)与式(6)和(5)比较可见,对任意 $\Delta\lambda_i$ 有

$$L_I(X, \Delta\lambda_i) < L_I(X), \quad (9)$$

或

$$P'_{\max} > P'_{\max}(\Delta\lambda_i), \quad (10)$$

式(10)中

$$P'_{\max}(\Delta\lambda_i) = \frac{R_L \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} L_I(X, \Delta\lambda_i) V(\lambda) d\lambda - E_{\min}}{\sqrt{\delta^2 + \delta_{\Sigma}^2 + \delta_i^2}}, \quad (11)$$

即:如果控制像增强器的响应波段,图像增强效果和人眼所能获得的最大光量信息量将降低.

如果忽略噪声因素的影响有

$$P'_{\max} > \sum_i P'_{\max}(\Delta\lambda_i), \quad (12)$$

但如把对应空间位置三种响应波段的像增强器探测信号采用合成彩色显示的方式合成为一幅彩色图像,则它给出的人眼所能获得的最大光量信息量将变为

$$P'_{\max}(\prod_i \Delta\lambda_i) = \prod_{i=1}^3 P'_{\max}(\Delta\lambda_i), \quad (13)$$

很明显只要对任意的 $i (i=1, 2, 3)$ 有 $P'_{\max}(\Delta\lambda_i) > 3$ 成立,就可以有

$$\sum_i P'_{\max}(\Delta\lambda_i) < \prod_i P'_{\max}(\Delta\lambda_i), \quad (14)$$

一旦 $P'_{\max}(\Delta\lambda_i) > 10$,即对任一探测波段光电成像器件有10级以上响应信号,有

$$P'_{\max}(\prod \Delta \lambda) \gg P'_{\max}, \quad (15)$$

式(14)、(15)表明,在夜晚条件下,只要像增强器波段范围控制合适,当采用彩色图像增强后可以使整个彩色像增强系统所传输的光能量信息量得到增加。

如果把三个光电成像器件的输出信号分别作为像增强器彩色显示荧光屏红(R)、绿(G)和兰(B)三基色的驱动信号,则可以实现彩色图像增强。对于这种彩色成像方式,由于所采用的探测器光谱响应与人眼的色刺激函数不相同,将会产生探测与显示光谱的偏离,但从彩色显示图像反映景物图像光谱分布信息的观点看,这种“假彩色”与灰度彩色编码将有明显区别。

彩色图像增强技术与现有的图像增强技术相比,在像增强器增益满足一定条件后,它可以提高整个夜视系统所传输的人眼所能够获取的图像总信息量和目标图像光谱信息,从普遍意义上讲这对夜视系统的研制是十分有利的。

参考文献

- 1 Pollehn H K. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1985, **64A**: 61~69
- 2 Roaux E, Richard J C, Piaget C. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1985, **64A**: 71~75
- 3 Kong J, Liu Y, Zhang B. *SPIE*, 1996, **2898**: 175~181
- 4 Jiang X, Zhou L, Gao Z. *SPIE*, 1996, **2892**: 35~42
- 5 张敬贤,李玉丹,金伟其. *微光与红外技术*, 北京: 北京理工大学出版社, 1995: 1
- 6 荆其诚,焦书兰,纪桂萍. *人类的视觉*, 北京: 科学出版社, 1987: 45~64

IMAGE INFORMATION TRANSFER OF IMAGE INTENSIFIED NIGHT VISION SYSTEM

Zhou Jianxun Wang Liping Xu Zhiliang

(Electrooptic College, Nanjing University of Science and Technology
Department of Opto-electronics, Nanjing, Jiangsu 210094, China)

Abstract Based upon the analysis of information transfer of a typical image-intensification system, this paper shows that the image transfer from the output screen of the intensifier to the eye makes up limitation to the whole system information amount, and proposes that the use of color image-intensification when utilizing the transfer of information as the means of design and evaluation of night vision system, under the condition that the gain redundancy of image intensifier can compensate spectral gate attenuation, will realize larger information amount than the conventional image intensification.

Key words image intensification, night vision system, information amount, transfer