

视频监控摄像机性能参数综合评价研究

卢树华 黄鸿志 张鸿洲 王丽辉 王照明 田方

中国人民公安大学警务信息工程学院, 北京 102623

摘要 摄像机的品质参数直接影响到视频监控系统的整体性能,如何科学、合理、有效地定量评价其性能引起了人们的研究兴趣。表征摄像机成像性能的参数较多,且参数间相互制约、相互作用,因此,摄像机的成像性能评价是个较为复杂的综合性问题。分析了影响摄像机成像性能的主要参数:技术参数、功能参数、主观评价参数和经济参数;尝试采用层次分析法,将摄像机成像性能的综合评价分解成三个层次,构建了其综合评价模型,分析了各因素对于该模型的影响,并计算了其权重;给出了几种用于安防视频监控的1080P数字球形摄像机的综合评价结果,期望能为视频监控系统的建设和运行维护提供有意义的参考。

关键词 成像系统;摄像机;性能参数;层次分析法;综合评价

中图分类号 TN06; O435

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.091102

Comprehensive Performance Evaluation for Video Surveillance Cameras

Lu Shuhua Huang Hongzhi Zhang Hongzhou Wang Lihui Wang Zhaoming Tian Fang

School of Police Information, People's Public Security University of China, Beijing 102623, China

Abstract The quality factors of cameras have a direct impact on the performance of video surveillance systems. It has attracted many research interests that how to quantitatively evaluate their performances rationally and effectively. There are many interdependent and interactional parameters that are employed to describe the demonstration of cameras, and hence, it is a complex problem. The main parameters affecting performances of video cameras including technology, function, subjective assessment and economy parameters are analyzed. The comprehensive evaluation of the camera imaging performance is attempted to decompose into three levels based on analytic hierarchy process, and then an evaluation mode is established. The influence of various factors for the mode is discussed and their weight values are calculated. The comprehensive evaluation results of several 1080P digital dome cameras applied to security protection have been obtained. It is expected to provide a reference for construction and running of video surveillance systems.

Key words imaging systems; camera; performance; analytic hierarchy process; comprehensive evaluation

OCIS codes 110.3000; 150.6044; 120.4800

1 引言

摄像机,隶属于视频监控系统中的前端成像设备,它的作用是采集被监控场景(目标)反射的光线,并将其聚焦到固体成像器件CCD或CMOS传感器上,进行光电转换,最后得到可存储和传输的图像。摄像机,犹如人的眼睛,是视频监控系统获取(采集)图像信息的关键器件,对后续的图像分析、处理至关重要,它的品质参数直接影响到系统的整体性能。近年来,随着光电技术和计算机技术的快速发展,(智能)视频监控系统已广泛应用于国土安全、犯罪预防、视频侦查和突发事件预测预警等社会公共安全领域^[1]。目前,随着各地平安城市、智慧城市建设的广泛开展,市场上出现的摄像机种类繁多,性能各异,如何科学、合理、有效地定量评价其性能引起了人们的关注^[2-4]。

层次分析法(AHP),是上世纪70年代早期由美国运筹学家Thomas L Saaty提出,并被科研人员广泛接受和应用的一种将目标分解成多个层次,来定性和定量分析各因素对目标影响权重的方法^[3-5]。近年来,Alptekin等^[3-4]分别将层次分析法用来分析数码相机的性能与市场行为的关系。对于视频监控摄像机,单个

收稿日期: 2015-01-27; 收到修改稿日期: 2015-02-28; 网络出版日期: 2015-08-12

基金项目: 国家863计划(2013AA014604)、中央高校基本科研业务费(2014JKF02205、2015JKF01249)

作者简介: 卢树华(1978—),男,博士,讲师,主要从事安全检测和成像性能评测方面的研究。E-mail: luhua1021@126.com

参数或因素难以直接地、精确地描述其成像性能,因此,摄像机的成像性能定量评价是个较为复杂的综合性问题^[6-10]。本文将层次分析法应用到安防视频监控系统中摄像机成像性能的综合评价中,期望能为视频监控系统的建设与运行维护提供一定的参考依据。

首先分析了安防视频监控摄像机的性能评价参数,然后尝试采用层次分析法确定了评价指标的权重,并综合评价了几种 1080P 数字球型摄像机的性能。

2 摄像机性能参数及评价模型

2.1 摄像机的性能参数及测量

表征摄像机性能的参数较多^[6-12],综合文献报道和实际应用状况,尝试将其分为四种类型,即:技术参数、功能参数、主观评价参数和经济参数。其中,技术参数主要包括:分辨率、信噪比(SNR)、灵敏度、灰度等级、几何畸变和色彩还原性等等,这些参数以测试的结果作为评价的依据;摄像机的某些功能对其成像也有重要的影响,包括三维(3D)数字降噪(DNR)、自动聚焦以及一些功能模式的配置等,功能参数除了自动聚焦可以定量测量以外,其余两个参数以具备与否作为评价的依据;值得一提的是,摄像机成像质量的评测是一项较为复杂的工程,单项指标难以全面精确地反映其成像质量,且最终的图像是供人眼观察,故人的主观评价也很重要,因此人们常将人眼的视觉效果作为成像质量的评价准则之一^[2,6,13],在此,背光补偿、日夜切换、主观评估作为主观评价的参数;另外,经济参数也是用户选择摄像机需要考虑的重要因素。下面简要介绍参数的物理意义及评测方法。

2.1.1 技术参数

分辨率:摄像机分辨景物细节的能力,也称解像力,分为水平和垂直分辨率,常用电视线(TVL)表示,多用水平电视线来表示摄像机的分辨率,是评价摄像机成像质量最为重要的参数之一。测试采用国际标准 ISO12233 分辨率测试卡,计算分辨率数据采用日本奥林巴斯 HYRes3.1 软件。

色彩还原性:摄像机能够还原被拍摄景物色彩的最大限度,色彩还原性测试采用 24 色标准色卡,数据测量采用 Imatest 软件的 Colorcheck 程序模块。

灰度等级:图像从最亮到最暗可以分为若干亮度等级,亮度等级称为灰度。灰度等级采用 Q14 灰度测试卡。

灵敏度,是指保证图像质量所需要的被摄物的最低照度^[8],本文将摄像机在光圈增益最大时,拍摄系数 89.9%测试反射卡,视频信号幅度达到 100 IRE 时,所需要最小照度值作为测试灵敏度的数值。

信噪比:是衡量摄像机性能的重要参数之一,对成像的分辨率和层次有直接的影响。它的定义是指摄像机图像信号的峰-峰值与噪声的均方根之比^[9,12],用 dB 来表示,一般来说信噪比数值大于 40 dB 时,噪声可以忽略,信噪比越高图像质量越好^[9,12],测量采用 Imatest 软件的 Colorcheck 程序模块。

畸变:摄像机拍摄图像与物的变形程度,是像对景物的非线性失真,直接影响成像测量的精度^[14],主要由光学系统的像差和机械制造、安装引起^[8],也是评价摄像机成像质量的重要指标,数据测量采用 Imatest 软件的 Distortion 程序模块。

2.1.2 功能参数

3D 数字降噪:每帧图像出现的噪波是随机的,3D 数字降噪通过对比帧间图像信息,将不重叠的噪波自动滤出,能够降低噪声,提高图像的清晰度。

自动聚焦:根据被测景物的距离自动聚焦相机镜头,以镜头遮蔽到打开摄像机完全恢复清晰画面的时间为评判的依据。

功能配置:为了满足用户的不同需求,不同类型的摄像机功能配置不尽相同,摄像机所具有的视频格式、传输、显示、存储等方面的功能,应具有视频格式、分辨率、压缩率、色彩、亮度、饱和度、对比度、时间配置、通道参数配置、OSD 配置、支持双编码、编码帧率、编码方式、关键帧间隔等参数信息的设置与显示。

2.1.3 主观评价参数

逆光补偿:也称背光补偿,这项功能可以解决监控主体处于强光环境中而使摄像机曝光不足引起的目标画面不清晰的问题,测试时主要采用将摄像机朝向亮度较大的光源来观察其周围的物体是否清晰,专家组据此给出主观定量评价。

日夜切换模式:摄像机能够根据光线的强弱自动切换日夜模式,根据日夜切换前后的成像质量进行主观评价。

主观评价:根据摄像机视频图像质量(包括:清晰流畅、杂波干扰、抖动、马赛克效应、运动模糊等)采取主观评估的办法。

2.1.4 经济参数

经济因素也是评价视频监控系统建设和运营的重要因素,因此在摄像机的综合评价中计入价格参数对综合性能的影响。

2.2 层次分析法评价模型

根据层次分析法的步骤,首先构建摄像机性能指标综合评价的层次递阶模型,如图1所示,总共分为三个层次;目标层(A)、准则层(B)和指标层(C)。这样可以把摄像机性能指标综合评价的复杂问题按照属性及其相互间关系分解成三个层次,建立起层次评价模型。

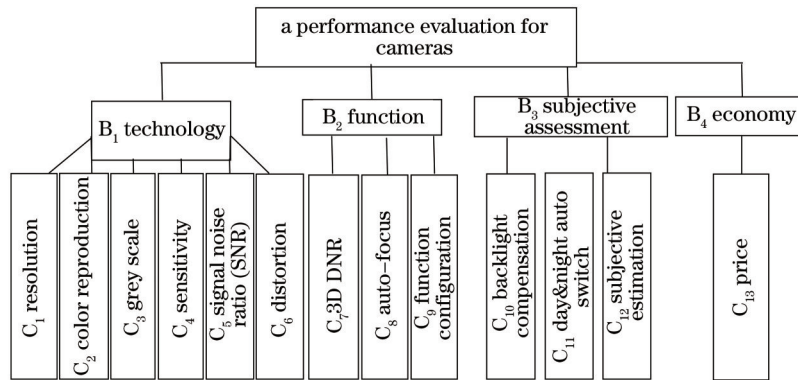


图1 摄像机性能评价层次模型

Fig.1 Mode of camera performance evaluation

根据图1建立的层次模型,先来确定B层元素相对于A层目标的权重,建立评价矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 1 \\ 1/3 & 3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

A 矩阵元的赋值规则按照 Alptekin 等^[3]使用的方法,采用求和的方法分别计算矩阵 A 的最大特征值 $\lambda_{A_{\max}} = 4.0435$, 特征向量 $W_A = [0.5549 \quad 0.0967 \quad 0.2516 \quad 0.0967]$, 也即 B 中各元素对 A 层的权重向量。为判断评价矩阵的合理性与逻辑性,计算矩阵 A 的一致性比例 $CI_A = 0.0161 < 0.10$, 表示矩阵的一致性合理的。同理建立评价矩阵:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 & 3 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 \\ 3 & 1 & 1/2 \\ 4 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/2 \\ 1/2 & 1 & 1/3 \\ 2 & 3 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其最大特征值分别为 $\lambda_{B1_{\max}} = 6.0184$, $\lambda_{B2_{\max}} = 3.0183$, $\lambda_{B3_{\max}} = 3.0092$, 特征向量分别为

$$W_{B1} = [0.2695 \quad 0.1486 \quad 0.1486 \quad 0.2695 \quad 0.0819 \quad 0.0819],$$

$$W_{B2} = [0.1222 \quad 0.3192 \quad 0.5586], \quad W_{B3} = [0.2972 \quad 0.1638 \quad 0.5389], \quad W_{B4} = [1],$$

一致性比例分别为: $CI_{B1} = 0.0029 < 0.10$, $CI_{B2} = 0.0176 < 0.10$, $CI_{B3} = 0.0046 < 0.10$, 一致性是合理的;此外,经济因

素中只有一个价格指标,其权重为1。最后计算各指标相对于目标层的权重向量为,

$$W_i = [0.1495 \ 0.0825 \ 0.0825 \ 0.1495 \ 0.0454 \ 0.0454 \ 0.0118 \ 0.0309 \ 0.0540 \ 0.0748 \ 0.0412 \ 0.1356 \ 0.0967]$$

一致性比例为: $CI=0.0047 < 0.10$, 满足各个元素综合一致性检验。

3 摄像机性能综合评价

只考虑单个参数对摄像机成像质量的影响,不考虑参数之间的相互制约及相互作用,把单个参数作为评价的一个因素,按照性能优劣分别赋予不同的分值,见表1所示。其中,功能参数中的3D数字降噪采用具备与否的评价方法,功能参数配置采用缺少一项参数配置降一个分数等级的方法;逆光补偿、日夜切换和主观评价采取专家组评价的方法。

表1 摄像机性能参数评价标准

Table 1 Evaluation criteria of the video surveillance camera performance

Parameters	100	90	80	70	60	0	Weight
Resolution /line	>1000	950~1000	900~950	850~900	850~800	<800	0.1495
Color reproduction (δ)	<11	11~12	12~13	13~14	14~15	>15	0.0825
Grey scale	19	18	17	16	15	<15	0.0825
Sensitivity /lx	<0.01	0.01~0.03	0.03~0.05	0.05~0.07	0.07~0.09	>0.09	0.1495
SNR /dB	>50	50~45	45~40	40~35	35~30	<30	0.0454
Distortion /%	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5	0.0454
3D DNR (Y/N)	Yes	-	-	-	-	No	0.0118
Auto-focus /s	0~1	1.5~1	2~1.5	2~2.5	2.5~3	>3	0.0309
Function configuration	Yes	Lack of 1	Lack of 2	Lack of 3	Lack of 4	Lack of 5	0.0540
Backlight compensation	Extremely good	Very good	Good	Neutral	Poor	Very poor	0.0748
D.&N. Auto Switch	Extremely good	Very good	Good	Neutral	Poor	Very poor	0.0412
Subjective estimation	Extremely good	Very good	Good	Neutral	Poor	Very poor	0.1356
Price	Very low	low	Average	high	Very high	Extremely high	0.0967

表2 几种安防视频监控1080P数字球型摄像机综合评价结果

Table 2 Comprehensive evaluation results of several 1080P digital dome cameras applied to security protection

Cameras	Resolution /line	Color reproduction (δ)	Grey scale	Sensitivity /lx	SNR /dB	Distortion /%	3D DNR	Auto focus /s	Function configuration	Backlight compensation (Ps)	D&n auto-switch (Ps)	subjective estimation (Ps)	Price	Total (Ps)
A	1200	7.6	18	0.002	51.8	0.79	Y	1.09	Y	76	87	82	L	93.1
B	1020	11.5	18	0.01	51.0	0.83	N	1.44	Y	50	77	72	A	86.4
C	1114	6.90	19	0.008	51.5	0.86	Y	1.91	Y	68	85	82	L	92.9
D	955	12.8	18	0.033	50.6	1.04	Y	1.84	Y	74	73	57	A	82.3

从上面对单个参数分析和评价的基础上,计入不同因素的权重和分值,得到几种被测性能参数标注基本相同的摄像机成像质量综合评价的结果,如表2所示,可以看出,摄像机性能指标的微小差异,在最后的评价中能得以体现。由表1可知,分辨率、灵敏度和主观评估在性能评价中所占的权重较大,反映在综合评价结果中,摄像机D的分辨率和主观评价较低,直接影响到了其综合评价结果。此外,摄像机C分辨率、灰度等级和图像主观评估表现优异,由于自动聚焦和背光补偿的技术细节没有处理好,综合评价结果略逊于摄像机A。

值得一提的是,由于摄像机不同的应用目的,其评价参数与权重也是不同的。例如:在视频侦查破案中,利用高的空间分辨率,可以识别可疑车辆的车牌、可疑人的面貌特征,故此类摄像机的空间分辨率、信噪比和灰度等级异常重要;而交通流量用摄像机,则分辨率可适当降低,价格因素的权重适当加大;相关工作仍需进一步深入的研究。

4 结 论

将影响安防视频监控摄像机成像性能的主要参数分为四类:技术参数、功能参数、主观评价参数和经济参数,尝试采用层次分析法,将摄像机成像性能的综合评价关系分解成三个层次,构建了其综合评价模型,

并分析了各因素对于该模型的影响,计算了其权重,给出了几种性能参数标注基本相同的 1080P 数字球型摄像机的综合评价结果,该模型可以有有效的评价不同摄像机的性能。

参考文献

- 1 Xiaogang Wang. Intelligent multi-camera video surveillance: a review[J]. Pattern Recognition Letters, 2013, 34(1): 3-19.
- 2 Lian Liqun, Zhou Taogeng, Zhang Pengsong, *et al.*. Digital camera synthetic evaluation system[J]. Journal of Applied Optics, 2012, 33(4): 756-760.
连礼泉,周桃庚,张鹏嵩,等. 数码相机综合评测系统[J]. 应用光学, 2012, 33(4): 756-760.
- 3 S Emre Alptekin. A fuzzy decision support system for digital camera selection based on user preferences[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(3): 3037-3047.
- 4 Chih-Hsuan Wang, Juite Wang. Combining fuzzy AHP and fuzzy Kano to optimize product varieties for smart cameras: a zero-one integer programming perspective[J]. Applied Soft Computing, 2014, 22: 410-416.
- 5 Zhang Peng, Zhang Zhihui, Han Shunli. Credibility evaluation of infrared imaging simulation based on the analytic hierarchy process[J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(s1): s111001.
张 鹏,张志辉,韩顺利. 基于层次分析法的红外成像仿真可信度评估[J]. 光学学报, 2013, 33(s1): s111001.
- 6 Lindsay W MacDonald, M Ronnier Luo. Colour Imaging: Vision and Technology[M]. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 1999: 285-288.
- 7 Dietmar Wueller. Evaluating digital cameras[J]. SPIE, 2006, 6069: 60690K.
- 8 Tan Xinquan, Mei Xiaoying. Performance evaluation of high resolution CCD image sensor and CCD camera[J]. Optical Technology, 1999, 1: 70-72.
谈新权,梅晓英. 高分辨率 CCD 图像传感器及 CCD 摄像机的性能评价[J]. 光学技术, 1999, 1: 70-72.
- 9 Bai Tingzhu, Jin Weiqi. Photoelectric Imaging Principle and Technology[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2005: 375-379.
白廷柱,金伟其. 光电成像原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005: 375-379.
- 10 Li Wenjuan, Zhang Yuan, Yu Yong, *et al.*. Measurement and experiment study on imaging performance of visible imaging system[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2013, 24(12): 2360-2366.
李文娟,张 元,于 勇,等. 可见光成像系统成像性能检测研究[J]. 光电子激光, 2013, 24(12): 2360-2366.
- 11 J C Mullikin, L J van Vliet, H Netten, *et al.*. Methods for CCD camera characterization[J]. SPIE, 1994, 2173: 73-84.
- 12 Lingfeng Chen, Xusheng Zhang, Jiaming Lin, *et al.*. Signal-to-noise ratio evaluation of a CCD camera[J]. Optics & Laser Technology, 2009, 41(11): 574-579.
- 13 Gu Yingying. The Research of Image Terminal Quality Assessment for Spaceborne Optical Remote Sensor[D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Chinese Academy of Science, 2013: 15-16.
顾营迎. 航天光学遥感器图像终端像质评价方法研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2013: 15-16.
- 14 Wang Huifeng, Wang Bingjian. Camera radial distortion calibrating method based on moving characteristic target[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(5): 0512007.
王会峰,王炳健. 移动特征靶标的摄像机径向畸变标定[J]. 光学学报, 2012, 32(5): 0512007.

栏目编辑: 刘丰瑞