

基于彩色直方图分析的智能视频监控系统*

张便利¹⁾ 常胜江^{1)†} 李江卫²⁾ 王 凯¹⁾ 申会庭³⁾ 张延¹⁾ 翟宏琛¹⁾

1) 南开大学现代光学研究所, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)

2) 南开大学出版社, 天津 300071)

3) 解放军炮兵学院, 合肥 230031)

(2006 年 2 月 3 日收到, 2006 年 8 月 8 日收到修改稿)

针对背景为固定场所的数字视频监控系统, 提出了一种通过比较图像彩色直方图距离实现视频监视系统自动控制的方法. 通过在线动态更换参考图像, 消除了时间变化引起的阳光、天气等因素对背景图像的影响. 采用均匀压缩的方法, 将真彩色颜色空间压缩到 16 色的索引色空间, 降低了计算复杂度, 滤掉了背景的微小变化引入的噪声, 实现了 10 ms 内完成对一幅图像的处理. 准确的自动控制在保证监视系统正常工作的同时, 极大地减小了所需的存储空间.

关键词: 视频监视系统, 彩色直方图, 直方图距离

PACC: 4230S, 4230D, 0210

1. 引 言

随着数字图像技术的发展, 数字视频监视系统已经被广泛地应用于社会生活中的很多方面. 传统的监控是由人在主控室来操纵各路摄像机, 或者是摄像机连续不断地工作, 将拍摄到的图像视频信号存储起来供以后分析使用. 由于存储的视频信息中绝大多数为无用信息, 连续录像的监控方式浪费了大量的存储介质, 造成了信息查找上的困难. 在数字视频监控中, 需要检测的是安全区域边界或特定区域内的非正常活动^[1]. 已经提出的运动目标检测方法主要有以下三种: 光流法^[2]、相邻帧差法^[3]和背景图像差分法^[4]. 光流法计算量大、易受噪声影响, 不利于实时处理. 背景图像差分法受到光线与天气等因素的影响, 需要动态确定阈值, 也不能满足实时处理的要求. 相邻帧差法较之其他两种方法, 通过差分、滤波、二值化、区域标记等步骤, 可以有效地实现运动目标的检测, 但是每幅图像的处理时间较长, 达到 250 ms^[5]. 在很多实际应用中, 为了满足信息处理的要求, 可以首先保存这些非正常活动的图像, 在后期工作中再根据要求对保存的图像做进一步的

分析.

颜色作为物体的一种重要特征, 是人们认识物体的重要信息来源. 因此颜色信息成为图像处理的一种关键依据. 彩色直方图具有旋转不变性、尺度不变性和很高的鲁棒性^[6], 能够大大减少图像色彩匹配中的计算量, 已被广泛地应用于图像检索与图像分割中^[7-9]. 该算法的基本思想是将图像间的不同归结为其彩色直方图的差别, 从而将图像的检索转换为彩色直方图的距离计算. 已有的应用工作都局限于目标为已知的图像处理中, 针对目标建立主颜色表, 根据此颜色表建立被检索图像的彩色直方图, 通过比较两个直方图之间的距离实现图像检索. 彩色直方图只反映颜色的比率信息, 不能反应颜色的空间分布及图像的形态特征, 因此, 检索效果不是很理想^[10].

本文利用彩色直方图方法的基本思想, 针对银行、自动取款机等背景为固定场景的视频监控系统, 提出了根据彩色直方图相似度来决定是否保存所拍摄到的视频图像的方法. 首先将真彩色空间均匀压缩到 16 色索引色空间, 降低计算复杂度, 提高对有无运动目标在背景中出现的判断速度. 同时, 通过在线动态更换背景图像, 消除了由于光线和天气等外

* 国家自然科学基金(批准号: 60477009, 60577017)、教育部博士点基金(批准号: 20030055022)、天津市科技攻关计划(批准号: 043100811)和南开大学科技创新基金资助的课题.

† E-mail: sjchang@nankai.edu.cn

界条件变化而引入的视频噪声. 实验结果显示, 通过一定数量样本的训练, 对于白天和夜晚的监控, 都可以实现正确判断. 该监控方式在高分辨率实时存储有用视频信息的同时, 极大地降低了存储容量, 满足实时应用的要求.

2. 彩色图像表示空间及直方图统计

2.1. 彩色图像表示空间

对于彩色图像, 常用的颜色表示方法有 RGB , HSV ^[11]等. 以红、绿、蓝为三基色的 RGB 表示方法是最常用的一种颜色表示模式, 它是一种非均匀的颜色空间, 与人眼的感觉并不相符. HSV 颜色空间把颜色分为色度、亮度和饱和度, 在视觉上是均匀的, 与人的颜色视觉有很好的 consistency. 通过一定的换算关系可以把 RGB 颜色空间上的向量 (r, g, b) 转化为 HSV 颜色空间上的向量 (h, s, v) .

数字图像的颜色是离散的, 每个像素占三个字节, 以红、绿、蓝三种颜色数值组成的矩阵形式存储. 虽然 HSV 颜色空间在彩色图像的处理中占有优势, 但是由于图像本身是以 RGB 颜色空间模式存储的, 而将图像从 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间是要花费很长时间的(在本工作采用的 PC 机上, 其转换时间为 5 s), 因此对处理速度要求较高的特定应用, 采用 RGB 颜色空间更为方便.

2.2. 图像的彩色直方图统计

相对于几何特征而言, 彩色直方图是一种概率统计的方法, 具有旋转不变性和缩放不变性等特点^[6], 在图像处理中得到广泛应用. 彩色直方图定义为图像中三个颜色通道的联合概率密度函数,

$$h_{R,G,B}(r, g, b) = N_{\text{all}} P(R = r, G = g, B = b), \quad (1)$$

式中, N_{all} 是图像的所有像素数, P 表示概率密度函数, h 为直方图函数, 表示图像中具有颜色 $(R = r, G = g, B = b)$ 的像素数. 在实际应用中, 更具有普遍意义的是联合概率密度函数, 又称为归一化的直方图,

$$\begin{aligned} H_{R,G,B}(r, g, b) &= \frac{h_{R,G,B}(r, g, b)}{N_{\text{all}}} \\ &= P(R = r, G = g, B = b) \\ &= \frac{N(r, g, b)}{N_{\text{all}}}, \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $N(r, g, b)$ 是颜色为 (r, g, b) 的所有像素数.

3. 基于彩色直方图分析的智能视频监控算法

为了对视频监视系统进行实时控制, 要求在图像采样间隔内完成对有无运动物体进入背景的判断. 如果有运动物体进入背景, 马上切换到录像状态. 随着数字图像技术的提高, 图像的分辨率越来越高, 直接处理这种高分辨率的图像时, 其运算量将会很大, 很难满足视频每秒 25 帧的实时处理要求. 因此采用一定的压缩算法对图像进行压缩是必要的. 本文首先将采集到的图像按照一定的采样压缩比 $k(0 \leq k \leq 1)$ 进行压缩, 然后再对图像进行直方图分析和处理.

3.1. 彩色直方图的量化

对于 RGB 颜色空间, 一共有 $256 \times 256 \times 256 = 1.68 \times 10^7$ (将该数记为 M) 种颜色, 这个颜色空间称为真彩色空间. 如果再考虑直方图上的相关运算, 运算复杂度将会很高, 处理速度往往无法满足系统的要求. 因此, 直方图的量化是非常重要的.

我们根据基于模糊关系的最大隶属度原则进行颜色空间的压缩. 首先, 建立一组色彩模糊集 $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$. 在我们的工作中, 固定场景中可能出现的目标颜色是不确定的, 为了照顾到整个 RGB 颜色空间, 我们采用均匀压缩的方法确定新的索引色空间. 然后, 确定 RGB 颜色空间中每一种颜色的归属. 对于一种颜色 $c(r, g, b)$, 通过计算该颜色与模糊集中的各个颜色之间的距离, 按照最大隶属度原则确定该颜色的归属. 两种颜色之间的距离用隶属度函数来计算^[12],

$$u_i(c, c_i) = \exp\{-[(r - r_i)^2 + (g - g_i)^2 + (b - b_i)^2]\}, \quad (3)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, n$ 表示模糊集中的各种颜色.

按照最大隶属度原则, 若 $u_l(c, c_l) = \max\{u_1(c, c_1), u_2(c, c_2), \dots, u_n(c, c_n)\}$, 则认为颜色 c 属于 l 所表示的那一类颜色.

在模拟仿真中, 我们发现直方图的量化不仅降低了计算的复杂度, 同时, 也可以消除天气、光线等微小变化(如树叶被风吹动等)对背景图像的影响, 滤掉这种视频噪声.

3.2. 彩色直方图相似度的计算方法

确定了索引色空间以后,目标图像与参考图像都选用此颜色空间进行彩色直方图分析,所以不需要判断两幅直方图中对应颜色之间的相似程度,只需要判断对应颜色在各自图像中出现的概率即可.我们采用 Euler 距离和交集距离两种方法来衡量图像彩色直方图之间的相似程度.

3.2.1. Euler 距离方法

Euler 距离 d_E 定义如下^[13]:

$$d_E(h, g) = \sum_i (h(i) - g(i))^2, \quad (4)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, n$ 表示 n 维的索引色空间, $h(a, b, c)$ 和 $g(a, b, c)$ 分别是参考图像和被考察图像的彩色直方图矩阵.欧拉距离的特点是在两个直方图中的同一个量化级间进行比较.当 $d_E(h, g)$ 大于阈值 α 时,则认为图像中有物体出现;否则,认为图像中没有物体出现.

3.2.2. 交集距离方法

交集距离 d_i 由 Swain 等^[14]引入到图像处理中,定义如下:

$$d_i(h, g) = \sum_i \min(h(i), g(i)), \quad (5)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, n$ 表示 n 维的索引色空间.其特点在于被考察图像中不存在的颜色对交集距离总的贡献为零,降低了背景颜色的贡献.当 $d_i(h, g)$ 小于阈值 α 时,则认为图像中有目标出现;否则,认为图像中没有目标出现.

3.3. 背景图像的更新

由于受到光线和天气等外界条件的影响,对于同样的场景,不同时刻的背景变化引起的直方图变化也会很大,有时甚至会超过目标出现引起的直方图变化,这样容易发生误判.为了避免这种情况,我们动态地更换参考背景,更换规则为:新采集的一幅图像,通过计算它与参考图像之间的相似度进行判断,如果判定其中无目标出现,则更新参考图像;否则,只开启摄像存储开关,不更换参考图像.类似于相继图像差分法,这种方法可以消除光线和天气等外界条件的影响.

3.4. 算法的复杂度分析

当将图像按照采样压缩比 k 进行压缩后,算法复杂度为 $O[g(kX \times kY)]$;当把颜色空间由 M 个压

缩到 n 个颜色组成的索引色空间后,直方图方法的计算复杂度为 $O[n]$,因此算法的复杂度为 $O[n \times kX \times kY]$;如果不进行图像压缩和颜色空间压缩,同样的算法复杂度为 $O[M \times X \times Y]$.两种算法的复杂度之比为

$$T = \frac{n \times kX \times kY}{M \times X \times Y} = \frac{n \times k^2}{M}. \quad (6)$$

从(6)式可以看出,当 n/M 和 k 值较小时,计算的复杂度下降很多.

4. 实验结果及分析

对于本文中的方法,我们采集样本图像进行了性能分析.选取的固定背景如图 1(a)所示,运动目标出现时的图像如图 1(b)所示.实验要求判断场景中是否有目标出现:如果目标出现就开启摄像开关,否则只更换背景图像,不储存视频图像.实验样本是连续拍摄的 360 幅图像,图像包括 2048×1536 个像素,其中目标出现与否各占一半.我们选取其中前 170 幅作为训练样本,通过训练确定阈值;剩余的 190 幅图像作为测试样本考察训练结果.

通过实验观察发现,当选取 $k = 0.1$,把 RGB 颜色空间均匀压缩到 16 色索引色空间时,可以获得很好的实验结果.图 1(c)中的颜色条即为我们采用的索引色空间,图 1(c)是将图 1(a)压缩并映射到此索引色空间以后所对应的彩色直方图,图 1(d)是将图 1(b)压缩并映射后所对应的彩色直方图.

图 2 为在 16 色索引色空间中用欧拉距离和交集距离两种方法计算所得到的直方图距离结果.在欧拉距离方法中,背景图像直方图变化的最大值为 2.5723×10^{-4} ,目标出现时直方图变化的最小值为 5.5018×10^{-4} ,两者差值为 2.9295×10^{-4} ,确定判断目标是否出现的阈值为 4.03705×10^{-4} ;当使用交集距离方法时,背景图像直方图距离的最小值为 0.9789,目标出现时直方图距离的最大值为 0.9700,两者相差 0.0089,确定判断阈值为 0.97445.从图 2 可以看出,目标出现与否的区别是很明显的.

图 3(a)是将颜色空间均匀压缩到 256 色索引色空间以后,利用欧拉距离方法进行训练的结果,其中背景图像直方图变化的最大值为 0.0014,目标出现时直方图变化的最小值为 0.0011,两者之间出现了交叉部分,因此不能利用固定的阈值来进行判断.图 3(b)是把颜色空间均匀压缩到 804 色以后,利用欧拉距离方法进行训练的结果.在这个颜色空间中,不

能简单地通过直方图距离判断出场景中有无目标出现.与图 2(a)相比可以看到,将颜色空间压缩到低

维空间,能在提高运算速度的同时,改进算法的性能.

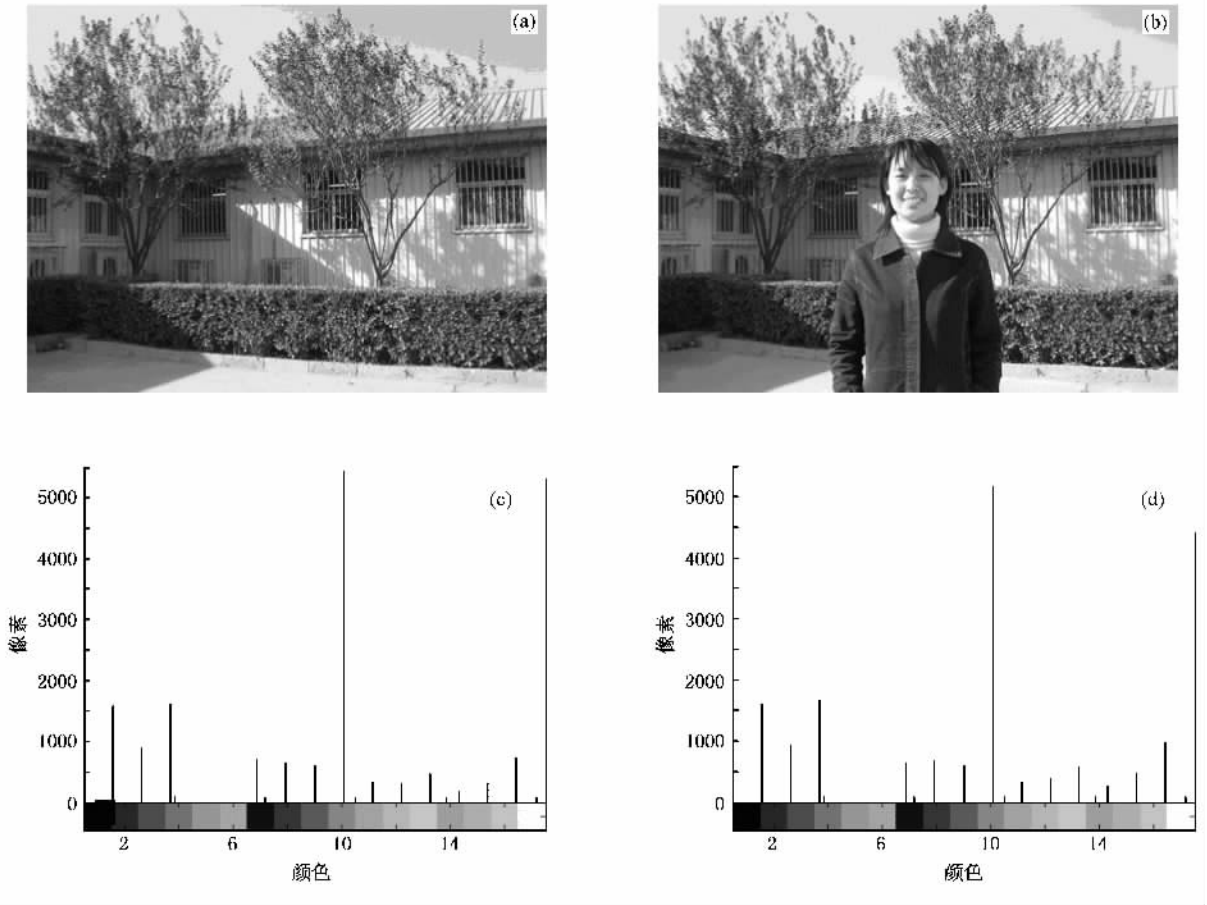


图 1 选取的固定背景和出现目标的图像及相应的彩色直方图 (a)选取的固定背景 (b)出现目标的图像 (c)与(a)图对应的彩色直方图 (d)与(b)图对应的彩色直方图

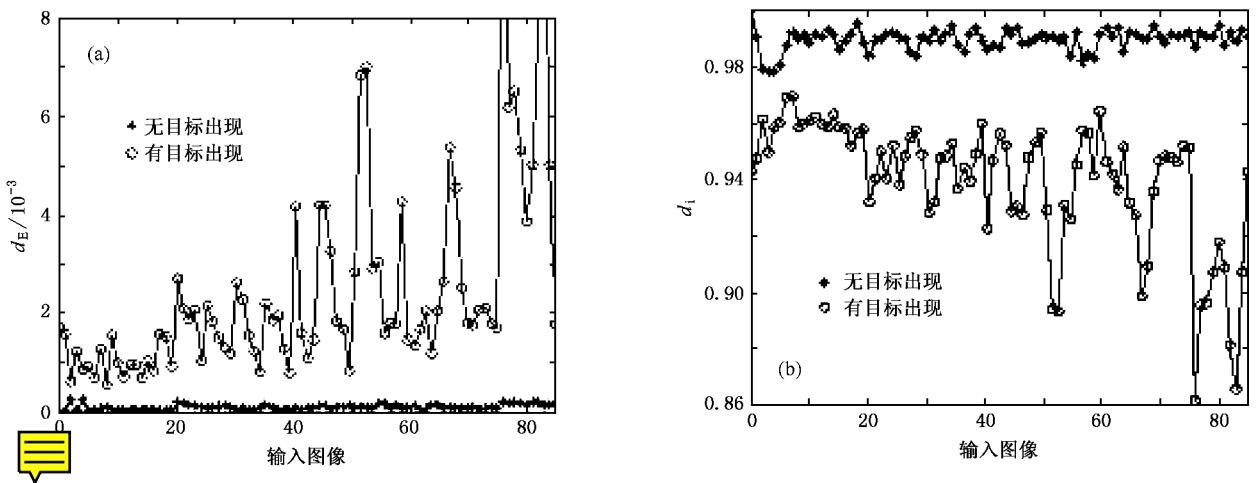


图 2 16 索引色空间的训练结果 (a)欧拉距离训练的结果 (b)交集距离训练的结果

通过训练确定了两种方法各自对应的阈值以后,我们利用另外的 190 幅图像作为测试样本进行

测试,其测试结果如表 1 所列.从表 1 可知,两种方法都可以实现正确判断,无一误判.

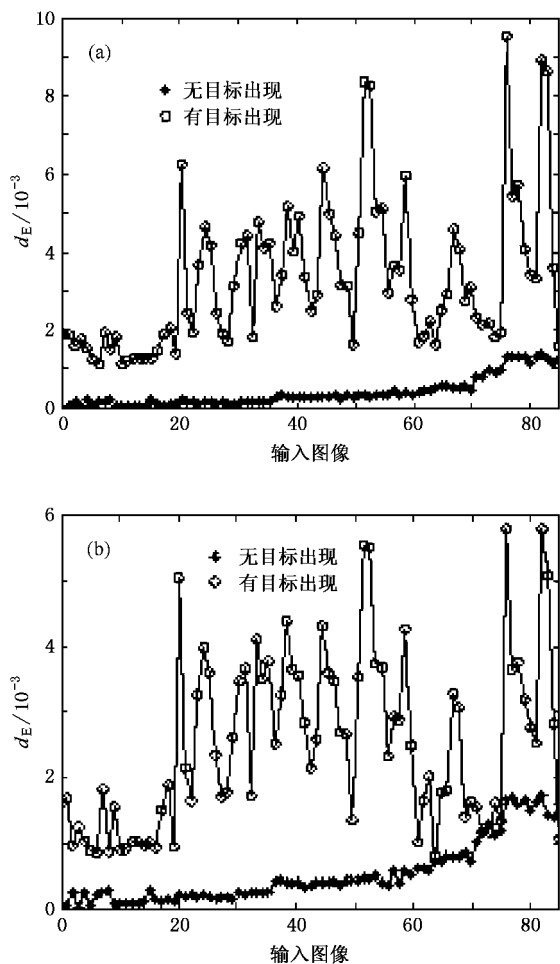


图3 欧拉距离训练的结果 (a)256索引色空间训练结果, (b)804索引色空间训练结果

表1 样本测试结果

	测试 样本数	判断 准确率/%	漏判 率/%	误判 率/%	平均每幅图 像判断时间/s
欧拉距离方法	190	100	0	0	0.0092
交集距离方法	190	100	0	0	0.0092

对于在线实时应用,处理速度是一个很关键的因素.在本文方法中,算法复杂度之比 $T = 10^{-8}$,与真彩色空间相比,极大地降低了计算复杂度,提高了图像处理的速度.使用的计算机为 p43.0 GHz 型 PC 机时,处理一幅图像所需要的平均时间为 10 ms,完全能够满足每秒 25 帧的实时处理控制要求.对于文献 [5] 提出的方法,我们在同样的实验设备下进行了模拟,平均处理一幅图像的时间是 200 ms,与文献

[5] 的结果相符.

在夜晚,由于灯光照明,图像的彩色模式有很大的变化.对于这种情况,采集样本进行了考察.选取连续拍摄的 115 幅图像,其中背景图像 41 幅,目标出现的图像 74 幅.图 4 所示为夜晚拍摄的图像.利用上述的方法进行分析,在欧拉距离方法中,背景图像的直方图变化的最大值为 4.9496×10^{-4} ,目标出现的直方图变化的最小值为 0.0035,两者相差一个数量级;在交集距离方法中,背景图像的直方图变化的最小值为 0.9702,目标出现的直方图变化的最大值为 0.9344,两者相差 0.0358,同样可以实现对有无运动目标出现的正确判断.



图4 夜晚拍摄目标出现的图像

5. 结 论

针对背景固定的视频监控系统,本文提出了一种利用彩色直方图相似度来判断是否需要录像的方法.通过在线动态更换参考图像,消除了阳光、天气等因素对于背景图像的负面影响.采用将真彩色空间均匀压缩到 16 索引色空间的方法,对于白天和夜晚的图像分析都可以取得可靠的判断结果,实现了 10 ms 内完成对一幅图像的分析,可以满足实时处理应用的要求.实验表明:两种计算距离方法(欧拉距离和交集距离)的性能相近,在实际应用中可以根据具体情况选用.随着彩色电荷耦合器件的普及应用,对于银行、自动取款机等背景为固定场所的视频监视系统的智能控制,此方法具有很强的实用价值.

- [1] Fu D S , Wang H B , Sun W J 2005 *Microelectron. Comp.* **22** 118 (in Chinese)[傅德胜、王还彬、孙文静 2005 微电子学与计算机 **22** 118]
- [2] Barron J , Fleet D 1994 *Int. J. Comp. Vis.* **12** 42
- [3] Meier T , Ngun K N 1999 *IEEE Trans. Circuits Sys. Video Techn.* **9** 1190
- [4] Fujiyoshi H , Lipton A 1998 *Proc. IEEE* **98** 15
- [5] Su X X , Shen J Y , Dai Z Q *et al* 2003 *J. Optoelectron. Laser* **14** 281 (in Chinese)[苏晓星、申金媛、戴志强等 2003 光电子·激光 **14** 281]
- [6] Das M , Riseman E M 1997 *IEEE Comp. Soc. Conf. (Puerto Rico : IEEE)* p756
- [7] Vinod V V , Murase H 1997 *Patt. Recogn.* **30** 1787
- [8] Kawanishi T , Murase H , Takaqi S *et al* 2001 *Image Proc.* **3** 716
- [9] Liang Y M , Zhai H C , Mu G G 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2671 (in Chinese)[梁艳梅、翟宏琛、母国光 2002 物理学报 **51** 2671]
- [10] Wang Y , Zhai H C , Mu G G 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1965 (in Chinese)[王 熠、翟宏琛、母国光 2005 物理学报 **54** 1965]
- [11] Smith J R , Chang S F 1996 *Proc. SPIE* **2670** 426
- [12] Liang Y M , Zhai H C , Chang S J *et al* 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 2655 (in Chinese)[梁艳梅、翟宏琛、常胜江等 2003 物理学报 **52** 2655]
- [13] Moghaddamzadeh A , Bourbakis N 1996 *Patt. Recogn.* **30** 867
- [14] Swain M J , Ballard D H 1991 *Int. J. Comp. Vis.* **7** 11

Intelligent control of video monitoring system based on the color histogram analysis^{*}

Zhang Bian-Li¹⁾ Chang Sheng-Jiang^{1)†} Li Jiang-Wei²⁾ Wang Kai¹⁾ Shen Hui-Ting³⁾
Zhang Yan-Xin¹⁾ Zhai Hong-Chen¹⁾

1) *Key Laboratory of Opto-electronic Information Science and Technology of Ministry of Education ,
Institute of Modern Optics , Nankai University , Tianjin 300071 , China)*

2) *Nankai University Press , Tianjin 300071 , China)*

3) *Artillery Academy of the Chinese People 's Liberation Army , Hefei 230031 , China)*

(Received 3 February 2006 ; revised manuscript received 8 August 2006)

Abstract

The intelligent control of video monitoring system in a fixed background scene is realized by comparing color histogram distance between reference image and objective image. The impacts on reference images caused by the variation with time and sunlight are eliminated by renewing reference images on-line. In order to reduce computational complexity and speed up the processing , a uniform compressional algorithm of real color space based on fuzzy method is proposed. The simulations show that an image can be processed in 10 ms , which meets the requirement of real-time processing.

Keywords : video monitoring system , color histogram , histogram distance

PACC : 4230S , 4230D , 0210

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 60477009 , 60577017) , the Doctoral Foundation of Ministry of Education of China (Grant No. 20030055022) , the Science and Technology Key Program of Tianjin , China (Grant No. 043100811) and the Technology Innovation Foundation of Nankai University , China.

[†] E-mail : sjchang@nankai.edu.cn