

# 煤矿监控图像中脸肤色和模板检测

陈 伟<sup>1,2</sup> 丁世飞<sup>1</sup> 夏士雄<sup>1</sup>

(中国矿业大学计算机科学与技术学院 徐州 221116)<sup>1</sup>

(中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室 徐州 221116)<sup>2</sup>

**摘 要** 煤矿监控图像的对比度低、灰度不均匀,使监控图像的处理和识别难度增大。在巷道环境下采集多角度的矿工监控图像,根据脸部肤色区域像素的统计特征,用上下限阈值的方法在 HSV 颜色空间分割出各种角度的矿工脸部,用半径为 2 的圆形结构元素进行数学形态学的开启和闭合操作,去除被误分为脸部区域的背景像素;根据脸部灰度分布特征构造了平均脸模板,用相似度函数作为脸部模板匹配的判别函数,检测矿工脸部位置。结果表明,用肤色分割和平均脸部模板匹配方法,可以快速检测出矿工脸部的精确位置。

**关键词** 矿工监控图像,颜色模型转换,开启,闭合,平均脸模板,模板匹配

**中图分类号** TD6, TP2. 23 **文献标识码** A

## Face Detection in Coal Mine Surveillance Image Based on Skin Color and Face Template

CHEN Wei<sup>1,2</sup> DING Shi-fei<sup>1</sup> XIA Shi-xiong<sup>1</sup>

(School of Computer Science and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)<sup>1</sup>

(The State Key Lab. of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)<sup>2</sup>

**Abstract** The miner surveillance images are of low contrast and unevenness gray level, which make the progress of processing and recognition very hard. Miner surveillance images from many angles are sampled in laneway conditions. The miners' face areas of all angles can be segmented in HSV color space with up and bottom threshold value according to statistical characteristic of face color. The pixels which are mis-segmented can be wiped off with the open and close operation in morphological with the circular structure element of 2 pixels radius. An average face template based on the distribution feature of face gray level was constructed. A similarity functions was used as the discriminant functions to determine the locations of faces. The results show that the locations of the miners' faces can be pinpointed fleetly with the method of face color segmentation and template matching.

**Keywords** Miner surveillance image, Color model transform, Open, Close, Verage face template, Template matching

脸部检测的目的是在图像中搜索人脸的位置和状态。目前,多数脸部检测方法是基于脸部特征器官的灰度或色彩信息<sup>[1-5]</sup>。肤色特征、脸部模板和高斯特征等脸部检测的重要方法<sup>[6-8]</sup>在实际中应用广泛。

矿工脸部图像的自动检测和识别是验证矿工身份的重要手段之一。但是,在煤矿巷道特殊工作环境中,光线的照度弱,监控图像的对比度低、不均匀程度大,因此矿工脸部图像的检测和识别的难度较大。矿工的脸部特征比其他的特征(如指纹、虹膜等)有更好的适应性<sup>[9]</sup>。用平均脸部模板可以在监控图像中搜索脸部的准确位置,但是模板匹配的时间复杂度大,实时效果不理想<sup>[10]</sup>。根据矿工脸部的特征肤色分割出可能的脸部区域,能有效地缩小脸部搜索的目标范围。因此,先进行肤色分割,再用脸部模板验证,是在复杂

背景、非均匀的低照度巷道监控图像中脸部检测的重要方法。

## 1 图像采集

在巷道中,监控摄像机设置在略大于矿工或载煤列车高度的巷道壁上,拍摄角度约为俯视 15°,矿工面对摄像机的角度  $\theta$  基本在 45° 范围内,否则不能拍摄到有矿工脸部的监控图像。侧面角度过大,被遮挡部分的面部过多,脸部信息丢失过多,检测的错误率增大。

采集具有代表性的  $\theta=0^\circ$ ,  $\theta=30^\circ$  和  $\theta=45^\circ$  时矿工戴有安全帽和未戴安全帽的监控图像各 20 幅,共 120 幅图像。煤矿图像监控系统中图像采集卡的分辨率是 352×288 像素(如图 1 所示),脸部范围的大小约为 30×30 像素。

到稿日期:2009-09-25 返修日期:2009-12-02 本文受中国矿业大学科技基金资助项目(OD090228),江苏省基础研究计划(自然科学基金)(No. BK2009093),国家“863”高技术项目(No. 2006AA01Z128),中国科学院智能信息处理重点实验室开放基金(No. IIP2006-2)资助。

陈 伟(1978—),男,博士,讲师,CCF 会员,主要研究方向为图像处理与模式识别, E-mail: chenwei13046@yahoo. com. cn; 丁世飞(1963—),男,博士,教授,博士生导师,CCF 会员,主要研究方向为智能计算;夏士雄(1961—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为数据处理与信息融合。

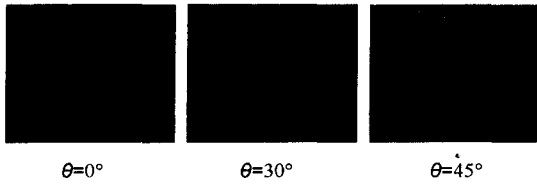


图1 不同 $\theta$ 角度下矿工监控图像

## 2 肤色分割

彩色图像能比灰度图像提供更多的人脸信息,灰度空间上相似的区域可以从色度空间上加以区分。脸部肤色的统计研究表明:肤色区域与非肤色区域的特征色彩值的差别很显著;在色彩空间中,对于相同人种而言,影响肤色值变化的最主要因素是亮度分量,不是色度分量<sup>[11,12]</sup>;对于不同人种而言,肤色能聚成相异的、紧凑的类别区域<sup>[13]</sup>。

### 2.1 肤色统计特征

煤矿图像监控系统中的彩色图像是用 RGB 颜色模型来表示的,RGB 模型是脸部特征颜色研究的重要模型之一<sup>[5,14]</sup>,但是三基色之间的相关度很高,亮度与色度相混合,因此,在 RGB 颜色空间中,特征肤色的聚集效果很差,常把它转换到亮度与色度分离的颜色模型,以提高肤色聚集的程度。实验中,我们采用 HSV 模型。RGB 颜色模型转换到 HSV 模型如下:

$$H = \begin{cases} \frac{G-B}{6(\text{MAX}-\text{MIN})}, & \text{if } R = \text{MAX} \\ \frac{1}{3} + \frac{B-R}{6(\text{MAX}-\text{MIN})}, & \text{if } G = \text{MAX} \\ \frac{2}{3} + \frac{R-G}{6(\text{MAX}-\text{MIN})}, & \text{if } B = \text{MAX} \end{cases}$$

$$S = \frac{\text{MAX}-\text{MIN}}{\text{MAX}}$$

$$V = \text{MAX} \quad (1)$$

式中,MAX 和 MIN 分别代表同一个像素中 RGB 三基色的最大值和最小值, $H$  代表色调, $S$  代表饱和度, $V$  代表亮度。

在 80 幅监控图像中采集脸部区域的像素点 12800 个,统计它们的  $H$ 、 $S$  和  $V$  分量的分布,如图 2 所示。脸部区域像素在  $H$  分量中的聚集程度最好,因此可以把 HSV 空间中脸部图像  $H$  分量值的分布特征作为脸部肤色区域分割的重要依据。

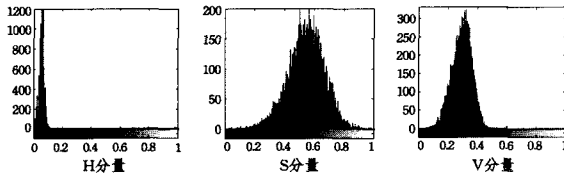


图2 脸部 12800 个像素的  $H$  分量、 $S$  分量和  $V$  分量的分布

用均值和标准差的方法来描述它们的分布特征,如表 1 所列。

表 1 脸部 12800 个像素的  $H$ 、 $S$  和  $V$  分量的均值和标准差

	$H$ 分量	$S$ 分量	$V$ 分量
均值 (m)	0.0640	0.5460	0.2932
标准差 (s)	0.0818	0.1241	0.0681

### 2.2 判别规则

根据统计理论,若  $u$  是均值, $\sigma$  是方差,从服从正态分布  $(u, \sigma^2)$  的总体中抽取样本,约有 95% 的样本是在区间  $(u-2\sigma, u+2\sigma)$  内;根据大数定律,当随机抽取的样本数量很大时,其

分布近似服从正态分布。对于 12800 个脸部像素,可以认为它近似于正态分布,区间  $(m-2s, m+2s)$  可以覆盖有 95% 的样本。但是,  $m-2s$  是小于 0 的值,因此色度值小于  $m+2s$  的所有像素都应该是脸部区域的像素。但是,在实验结果中有大量的背景像素被误判为脸部像素。因此,我们采用上下限阈值的方法进一步缩小阈值范围,用  $up$  表示阈值的上限,  $bottom$  表示阈值的下限,那么肤色分割的判别规则定义为:

$$b(i, j) = \begin{cases} 1, & bottom \leq f(i, j) \leq up \\ 0, & f(i, j) \leq bottom, f(i, j) \geq up \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $f(i, j)$  是第  $(i, j)$  个像素的值,  $b(i, j)$  是经过肤色分割的二值图中第  $(i, j)$  个像素的值。

由于煤矿监控图像的照度低,图像采集的影响因素很多,兼顾到实时监控处理的要求,根据图 3 中  $H$  分量的分布和实验经验,设定  $up=0.11$ ,  $bottom=0.01$ ,可以覆盖肤色的大部分颜色范围。分割出来的脸部区域如图 3 所示。



图3 分割出来的矿工脸部范围

### 2.3 去除错分背景像素

分割出人脸的可能区域中有很多与脸部颜色相近的背景像素。大多数被错误分割出的背景像素是孤立的,只有少数是连通的,并且连通的范围都比较小。数学形态学的腐蚀操作可以去掉图像中与目标物体接触或孤立的噪声区域,消除细小的连线,使目标缩小、孔洞增大;膨胀操作可以将图像中与目标物体接触的背景区域合并到物体中,使目标增大、孔洞缩小或消失,与周围形成连通域。因此,选择适当的结构元素,先开启、再闭合的操作可以消除图像中细小的影响因素。处理方法可以去除错误分割的背景像素、保留脸部范围。基本的腐蚀和膨胀操作分别定义为<sup>[15]</sup>:

$$B \ominus S = \{x \mid S+x \subseteq B, x \subseteq B\}$$

$$B \oplus S = \{x \mid S+x \cup x \neq \phi, x \subseteq B\} \quad (3)$$

式中,  $B$  是二值图像中形态学运算的对象,  $S$  是结构元素,  $B \ominus S$  是腐蚀操作,  $B \oplus S$  是膨胀操作,进而,二值图像的开启和闭合操作可以分别表示为:

$$B \circ S = (B \ominus S) \oplus S; B \cdot b = (B \oplus S) \ominus S \quad (4)$$

被错误分割出的背景像素的半径多为 2 个像素的范围内。因此,我们采用半径为 2 的圆形结构元素,经过形态学的先开启、再闭合的处理,可以消除大多数背景像素。形态学处理的结果和对应的脸部范围如图 4 所示。

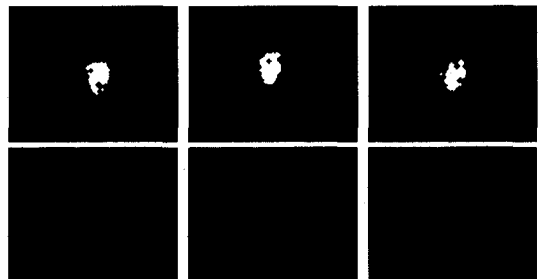


图4 形态学操作的结果和对应的脸部范围

### 3 脸部模板匹配

#### 3.1 脸部模板构造

肤色分割可以快速确定出脸部的可能位置范围,而基于脸部模板的脸部检测方法可以精确定位人脸位置。在应用中,平均脸部模板具有较好的检测效果<sup>[16]</sup>。

正面平均脸模板的构造方法为:手工选取若干人脸图像,并将其归一化为同等尺寸,再计算这些人脸图像中对应像素的平均值。

根据统计理论,如果被选取的一组脸部图像是独立同分布的,那么这些脸部区域中相同位置的像素值也是独立同分布的。如果第  $k(k=1,2,\dots,n)$  个脸部区域中的某个像素值  $f_k(i,j)$  服从正态分布  $N(\mu_f, \sigma_f^2)$ , 其中  $\mu_f$  和  $\sigma_f$  分别是像素  $f_k(i,j)$  的均值和方差,则  $T(i,j)$  服从  $N(\mu_f, \sigma_f^2/n)$  分布。因此,脸部模板中局部信息的偶然性大幅度降低。

在 HSV 颜色空间中, H 和 S 分量共同表示颜色,相关性非常大, V 分量表示了亮度;对于同种肤色类型的人脸,颜色的差别主要是由亮度引起的,因此在 V 分量空间构造正面平均脸模板,能适应同种肤色中有颜色、有差别的绝大多数正面脸部的检测。如果使正面脸模板能适应侧面人脸图像的检测,则正面脸模板不能太宽。手工截取脸部图像 16 幅,每幅大小为  $22 \times 26$  像素,构造的正面全脸模板如图 5 所示。

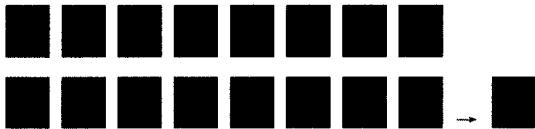


图 5 正面全脸平均模板构造

#### 3.2 判别函数

基于模板匹配的脸部检测的主要方法是根据模板和模板覆盖下的子图的相似度判断某个位置是否存在脸部。我们采用的相似度函数  $s(m,n)$  为<sup>[17]</sup>:

$$s(m,n) = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P^{m,n}(i,j) \cdot T(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [P^{m,n}(i,j)]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [T(i,j)]^2}} \quad (5)$$

式中,  $I$  和  $J$  分别是脸部模板  $T$  的长和宽;  $L$  和  $W$  分别是待检测图像的长和宽;  $P^{m,n}$  是脸部模板  $T(i,j)$  平移到图像的  $(m,n)$  位置时对应的子图。

脸部图像是否存在的判别规则为: 给定阈值  $th$ , 若  $s(m,n) \geq th$ , 则认为半脸模板  $T$  与子图  $P^{m,n}$  相似。

相似度是图像中局部区域的统计值,不同形状的局部灰度图像可能有相近的相似度数值,因此基于相似度判别的模板匹配方法允许检测出错误的匹配位置。

### 4 实验与分析

在分割出人脸区域范围的图像中,用平均脸模板精确定位人脸位置,结果如图 6 所示。



图 6 基于平均脸模板检测的结果

结果表明:

(1) 用平均脸模板在正面图像中检测脸部,脸部位置定位的精确度非常高。由一系列正面脸部图像构造的平均脸模板反映了面部基本特征,使模板与子图有很高的相似度。

(2) 用平均脸模板检测图像中左侧面约  $30^\circ$  和  $45^\circ$  脸部,脸部位置定位的精确度降低,主要是因为脸部转向左侧面,大量的右侧脸部的信息被遮挡,平均脸模板与子图的相似度降低。

**结束语** (1) 煤矿监控图像的对比如度低、不均匀程度大、影响因素多,在 HSV 颜色模型的 H 分量中,用上下限阈值的方法可以快速分割出监控图像中的矿工脸部范围,分割的效果不受监控图像中矿工脸部侧面方向的影响;用半径为 2 的圆形结构元素进行开启和闭合操作,能去除被误分割为脸部区域的背景像素。

(2) 平均脸模板可以大幅度降低脸部局部特征器官灰度信息的偶然性;用相似度函数作为判别模板与其覆盖区域的相似程度的方法,能准确地检测出监控图像中矿工脸部的位置。因此,对矿工监控图像先进行肤色分割、再进行脸部模板匹配,可以快速、准确地检测出脸部的位置。

### 参考文献

- [1] Hjelmas E. Face Detection: A Survey[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2001, 83: 236-274
- [2] 梁路宏,艾海舟,徐光祐,等. 人脸检测研究综述[J]. 计算机学报, 2002, 25(5): 449-458
- [3] 孙宁,邹采荣,赵力. 人脸检测综述[J]. 电路与系统学报, 2006, 11(6): 101-113
- [4] Yang Ming-Hsuan, Kriegman D J, Ahuja N. Detecting Faces in Images: A Survey[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1): 34-58
- [5] Cai J, Goshtasby A. Detecting human faces in color images[J]. Image and Vision Computing, 1999, 18: 63-75
- [6] Zhong Jin, Zhen Lou, Jingyu Yang, et al. Face detection using template matching and skin-color information[J]. Neurocomputing, 2007, 70: 794-800
- [7] Meynet J, Popovici V, Thiran J-P. Face detection with boosted Gaussian features[J]. Pattern Recognition, 2007, 40: 2283 - 2291
- [8] Huang Lin-Lin, Shimizu A. A multi-expert approach for robust face detection[J]. Pattern Recognition, 2006, 39: 1695-1703
- [9] 陈伟. 矿工人脸图像检测与煤炭图像识别方法的研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2008
- [10] 孙继平, 陈伟, 唐亮, 等. 有限空间低照度低分辨率图像中人脸检测[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(3): 373-378
- [11] Graf H P, Chen T, Petajan E, et al. Locating Faces and Facial Parts [A] // Proc. First Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition [C]. 1995: 41-46
- [12] Yoo T W, Oh I S. A fast algorithm for tracking human faces based on chromatic histograms[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(10): 967-978
- [13] Yang J, Waibel A. A real-time face tracker [A] // IEEE Proc. of the 3rd Workshop on Applications of Computer Vision [C]. Florida, 1996
- [14] Jones M J, Rehg J M. Statistical color models with application to skin detection[A] // Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. Fort Collins, Colorado, 1999: 274-280
- [15] 何东健, 耿楠, 张义宽, 等. 数字图像处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003, 7: 1-291
- [16] 梁路宏, 艾海舟, 何克忠, 等. 基于仿射模板匹配的多角度单人脸定位[J]. 计算机学报, 2000, 23(6): 640-645
- [17] 沈庭芝, 方子文. 数字图像处理及模式识别[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998: 150-155