

基于色度畸变和纹理特征的阴影消除方法^{*})

刘 洋 李玉山 张大朴

(西安电子科技大学电路 CAD 研究所 376 信箱 西安 710071)

摘 要 从图像序列中精确地提取运动目标是许多计算机视觉应用中的核心部分,但由于运动目标阴影的存在,会导致目标形状的扭曲、目标的相互连接等问题,对分割和提取运动目标造成很大的困难。为了精确地提取运动目标,提出一种利用色度畸变和纹理特征进行阴影消除的方法。采用混合高斯分布建立自适应背景模型,运用背景减除的方法分割出运动区域,并分析了场景点在存在阴影前后色度的分布规律以及纹理的互相关性,从而消除运动目标的阴影。分析和实验表明,该算法抗干扰能力强,对于室内和室外光照条件下的阴影都能有效地消除,并且所需设置的参数少,复杂度较低,易于实现实时运动图像处理。

关键词 运动检测,混合高斯分布,背景减除,阴影消除,互相关性

A Chrominance Distortion and Texture Based Method for Shadow Suppression

LIU Yang LI Yu-Shan Zhang Da-Pu

(Institute of Electronic CAD, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract Extracting moving object from image sequence accurately play a very important role in computer vision. However, many problems arise because of the shadow of the objects, for example, the distortion of the object shape and the adjacency between different objects, all of these make the segmentation and extraction of objects very difficult. To cope with these problems, a shadow suppression method based on chrominance distortion and texture is proposed. The adaptive background model is established to detect the moving region, while the distribution rule of the chrominance and the cross correlation of texture after and before shadow appears are analyzed to eliminate the shadow of objects. Several experiments show that the algorithm is robust in noisy environment, effective to eliminate the objects shadow and extract moving objects accurately in indoor and outdoor environment. The algorithm also has the advantages of less parameters, low complexity, and easy to be implemented in real time.

Keywords Moving object extraction, Adaptive background model, Background subtraction, Shadow suppression, Cross correlation

1 引言

运动目标的精确提取是智能监控,目标跟踪,分类与识别等计算机视觉应用领域中基本而又重要的一个步骤。在这些应用中,一个主要的问题是检测场景中的目标投射在背景或其它目标上的阴影。目前采用的运动检测算法通常在检测运动目标的同时,也将阴影点检测成前景点,这就在分割和提取运动目标的时候产生严重的问题,例如,阴影会导致目标形状的扭曲、目标的合并,甚至由于目标投射在另一目标上的阴影而导致目标的丢失。因此,阴影的检测对于目标跟踪,目标分类和识别等后期处理都是一个关键性问题。

阴影检测的主要目的是将运动投射阴影和运动目标有效地区分,提高分割结果的质量。由于阴影和目标共同拥有两个重要的视觉特征^[1]:1. 由于阴影点与背景点存在很大的不同,故而会将阴影点检测成前景点。2. 阴影具有和投射阴影的目标相同的运动。因此,进行阴影的检测和消除是比较困难的。目前,在阴影检测的相关文献中提出的阴影检测算法可以分为两类:一是基于场景几何特征的方法^[2];二是基于阴影属性的方法^[3~7]。基于场景几何特征的方法一般需要知道场景和目标的先验知识,例如所观察道路的方向和检测的目标类别等,估计出光源的照射方向,从而确定阴影相对于目标的位置,进而达到消除阴影的目的。这种方法一般适合特定的应用场合,适用范围相对很窄。基于阴影属性的方法主要分析场景点在存在阴影前后像素点属性的变化来实现阴影的

检测和去除。针对不同的应用场合,基于阴影属性的方法一般采用如下几点假设:1)投射阴影的亮度低于背景的亮度。2)投射阴影的色度和背景的色度相同,或只是稍微有所改变。3)背景是平坦的,或是局部平坦的,并且光源位置距离背景较远。4)阴影区域仍然保留着对应背景表面的光学特性,例如背景的模式、纹理等。5)阴影区域的边缘应该很微弱。在大多数的相关文献中采用了第二种方法,并都隐含地使用了这些假设。在文[4,5]中,利用色度的畸变来描述阴影和前景目标的差别,但是没有考虑到像素点的亮度值或饱和度较低时,色度不稳定的情况。在文[7]中,二色性模型被用于检测室外明显的阴影。利用时空反射率将图像分割成均匀区域,采用主分量分析方法(PCA, Principal Component Analysis)估计不同区域的颜色向量,通过比较每个区域和各种材料之间颜色相似性分割出明显的阴影区域。该种方法的精确度取决于区域分割的准确程度,计算复杂性很高,不能实现实时的阴影消除,并且对噪声很敏感。在文[8]中,用隐马尔可夫模型对像素亮度的三个状态,即前景、背景和阴影进行建模,通过对模型状态的判别来区分前景、背景和阴影。但是,这种方法存在稳定性问题。

通过研究发现,在颜色值和饱和度较高的情况下,阴影区域和背景投射阴影前的颜色值近似符合一种线性关系,色度变化很小,但是当阴影较暗或饱和度很低的时候,这种线性关系并不完全成立,色度波动很厉害,仅仅依靠色度进行阴影的消除是不可靠的。在本文中,我们分析了场景点在存在阴影

^{*})国家自然科学基金项目(No. 60172004);教育部博士点基金项目(20010701003)。刘 洋 博士研究生,主要从事计算机运动视觉算法与实现等方面的研究。李玉山 教授,博士生导师,主要从事视觉芯片设计,机器视觉等方面的研究。张大朴 博士,主要从事摄像机标定、运动机器视觉等方面的研究。

前后的色度的变化规律以及纹理的互相关性,根据当前像素点的亮度和饱和度信息而采用相应的场景点分类方法,利用色度向量夹角和纹理特征进行阴影的消除。具体的背景模型以 Christopher 等提出的自适应混合高斯模型为蓝本^[9],采用 YUV 颜色空间建立自适应的背景模型,并加以部分改进,从而使检测结果更加稳定和可靠;根据当前点的亮度值和饱和度信息决定阴影提取方法;最后去除阴影,并通过相应的后处理消除杂点,提取出运动目标。

2 运动区域检测

2.1 背景模型

在摄像机静止的条件下,背景减除是目前运动分割中最常用的一种方法。通过将当前图像与背景图像进行差分,确定出颜色值变化较大的区域,并加以阈值化来检测出运动区域。这种方法计算速度很快,并且一般能够给出最完全的特征数据,但对于动态场景的变化,如突发亮点,噪声比较敏感。在实际应用中需采用一定的算法进行背景模型的动态更新,以适应环境的变化。

在这里,我们采用了混合高斯分布对 YUV 颜色空间的各个像素值建立背景模型,因为根据实验证明采用 YUV 颜色空间可以获得比 RGB 或 HSV 颜色空间更低的误检测率^[10],并采用增长 EM 算法进行参数的训练和模型参数的更新。假设在 $[0, t]$ 时间段内,图像序列中 (i, j) 点的像素值分别为 $[X_1, X_2, \dots, X_t]$,将每个像素点的颜色分布用 K 个高斯分布来表示(K 一般取 3 到 5),则当前像素点的分布为

$$P(X_t) = \sum_{k=1}^K w_k^t \eta(X_t | \mu_k^t, \Sigma_k^t) \quad (1)$$

$$\eta(X_t | \mu_k^t, \Sigma_k^t) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{B}{2}} |\Sigma_k^t|^{-\frac{1}{2}}} \exp\left[-\frac{1}{2} (X_t - \mu_k^t)^T \Sigma_k^{t-1} (X_t - \mu_k^t)\right] \quad (2)$$

在这里, w_k^t 表示第 k 个高斯分布的权值, μ_k^t 和 Σ_k^t 分别表示第 k 个高斯分布关于 YUV 的均值矢量和协方差矩阵。像素点的高斯分布形式由参数 $\Theta = \{w_k^t, \mu_k^t, \Sigma_k^t\}$ 决定,这些参数可以由最近的 N 帧图像通过增长 EM 算法进行训练得到。

2.2 自适应背景减除及模型参数更新

对于任意时刻 t ,我们必须判决当前帧的每个像素点属于背景还是前景点,同时更新背景的像素分布模型。

在进行像素点判决和更新的过程中,我们考虑了如下几点并采用相关的处理方法:1. 由于色度分量(U 和 V 分量)在饱和度或像素值较低的情况下会产生不稳定的波动,我们在计算优先级的时候采用 $p^k = w_k^t / \delta_k^t$,即只考虑亮度分量的方差。2. 如果像素点的亮度值小于一定阈值,像素点的色度变得很不稳定,这时,在像素点匹配时只采用 Y 分量。3. 如果场景很长时间保持静止,背景分量的 YUV 方差将会变得非常小,从而使检测结果产生较大误差,我们定义 YUV 噪声分量的最小方差,使 YUV 分量的方差不小于该最小方差。

首先,根据优先级 $p^k = w_k^t / \delta_k^t$ 将混合高斯分布中的各个分布按照优先级从高到低的顺序排列。其次,按照 $B = \arg\min_b (\sum_{k=1}^b w_k^t > T_b)$ 准则选取表示背景模型的高斯分布,也就是说,权值在阈值 T_b 之前的分布被认为是背景分布,其它的则认为是前景分布。最后,按照优先级次序对每个像素点进行判决。当前像素点按下面的准则进行判决

$$S(X_t) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } \left(\frac{(x_t^Y - \mu_k^Y)^2}{\delta_k^{Y^2}} < \beta\right) \wedge \left(\frac{(x_t^U - \mu_k^U)^2}{\delta_k^{U^2}} < \beta\right) \wedge \left(\frac{(x_t^V - \mu_k^V)^2}{\delta_k^{V^2}} < \beta\right) \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

即,如果当前像素点 YUV 分量与高斯分布 η^k 的均值在 β 个方差范围之内,则认为是前景点,否则认为是背景点, β 一般取 2 到 3。

如果找到与 X_t 相匹配的高斯分布 η^k ,则需要对该高斯分布的自身参数进行更新,若检测时没有找到任何高斯分布与 X_t 匹配,则将优先级最小的一个高斯分布去除,并根据 X_t 引入一个新的高斯分布,并赋予较小的权值和较大的方差,然后对所有高斯分布重新进行权值的归一化处理。第 k 个高斯分布的权值更新如下

$$w_k^t = (1 - \alpha) w_{k-1}^t + \alpha M_k^t \quad (4)$$

对于与 X_t 相匹配的高斯分布, M_k^t 为 1,否则 M_k^t 为 0。其中 α 是表示更新快慢的常数。

与 X_t 相匹配的高斯分布的 μ_k^t 和 Σ_k^t 参数按下面的公式进行更新

$$\mu_k^t = (1 - \alpha) \mu_{k-1}^t + \alpha X_t \quad (5)$$

$$\Sigma_k^t = (1 - \alpha) \Sigma_{k-1}^t + \alpha (X_t - \mu_k^t)(X_t - \mu_k^t)^T \quad (6)$$

$$\delta_{k,Y}^t = \delta_{Y\min}, \text{ 如果 } \delta_{k,Y}^t < \delta_{Y\min} \quad (7)$$

$$\delta_{k,U}^t = \delta_{U\min}, \text{ 如果 } \delta_{k,U}^t < \delta_{U\min} \quad (8)$$

$$\delta_{k,V}^t = \delta_{V\min}, \text{ 如果 } \delta_{k,V}^t < \delta_{V\min} \quad (9)$$

通过计算出来的背景模型,将当前图像各个像素点通过(3)式进行判决,得到二值化的分割图像可能会产生一定微小的空洞和杂点,我们采用形态学方法对该二值化分割图像进行进一步处理,填充内部空洞和消除杂点。

3 阴影的消除

采用第 2 节中描述的自适应背景减除方法能够给出运动区域最完全的特征数据,但由于阴影和目标共同拥有两个重要的视觉特征,在检测运动目标的同时,也将阴影点检测成前景点,导致目标形状的扭曲、目标的合并,甚至目标的丢失等问题。所以必须进行阴影的检测与消除,以便精确提取运动目标。

3.1 颜色模型

目前,有很多种颜色空间可以将图像的色度分量和亮度分量区分开来,从而使颜色空间更接近于人眼对颜色的感觉,例如,HSV 颜色空间,然后比较当前帧图像和背景图像的亮度和色度变化,检测出阴影区域。但是这种转换较为复杂,对于大型图像会是非常耗时的操作同时,在亮度值和饱和度较低的情况下,采用 HSV 颜色空间计算出来的 H 分量是不可靠的。

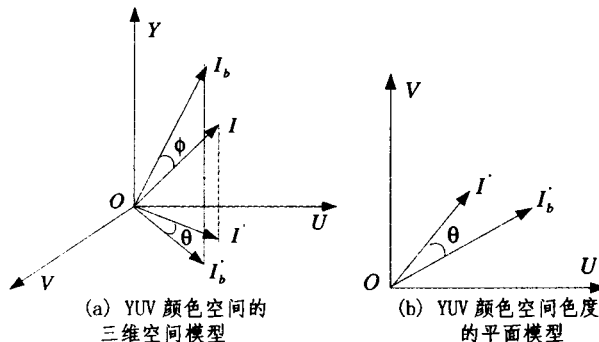


图 1 YUV 颜色空间的三维空间模型及色度的平面模型

通常,摄像机或 TV 的数据是以 RGB、YUV 或 YCrCb 的格式输出的,考虑到计算效率和检测阴影这一目的,我们直接采用 YUV 颜色空间。YUV 颜色空间已经将色度分量和亮度分量区分开来,并和 RGB 颜色空间存在一种线性变换关系,三维 YUV 颜色空间的模型如图 1(a)所示。

假设图像当前像素点为 X_i , 分别令

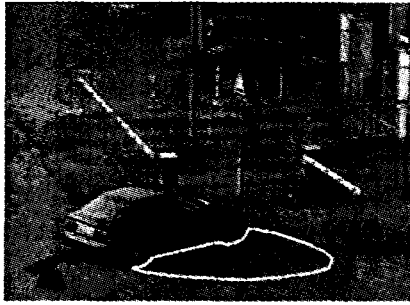
$$I = [Y(X_i), U(X_i), V(X_i)] \quad (10)$$

$$I_b = [\mu_Y(X_i), \mu_U(X_i), \mu_V(X_i)] \quad (11)$$

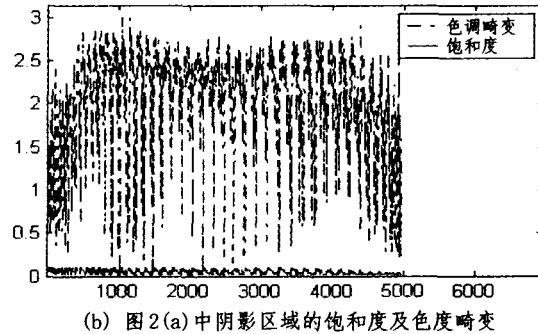
I 和 I_b 分别表示当前图像中和背景图像中该像素点在 YUV 颜色空间的 YUV 分量值, I' 和 I'_b 分别是 I 和 I_b 在 UV 空间的投影, 见图 1(b)。我们将当前图像像素点和对应的背景像素点的色度畸变定义为

$$C(X) = \theta = \arccos\left(\frac{OI' \cdot OI'_b}{|OI'| |OI'_b|}\right) \quad (12)$$

基于假设(2), 投射阴影的色度和背景的色度相同, 或只是稍微有所改变。如果色度畸变小于阈值 T_θ , 则将其判定为



(a) 阴影区域



(b) 图 2(a) 中阴影区域的饱和度及色度畸变

图 2 饱和度较低时阴影区域的色度畸变

3.2 阴影区域的纹理特征

根据上述分析, 对于亮度值或者饱和度很低的像素点, 我们采用前景点和背景点的纹理相关性进行阴影点的判别。

阴影区域是一个半透明区域, 被阴影遮挡前后背景区域的纹理可以看作是近似不变的^[3], 我们通过像素点局部区域的相关系数来测量区域纹理的相似性。对于灰度图像, 其互相关系数可以通过下式计算^[11,12]:

$$\rho(X, Y) = \frac{m(XY) - m(X)m(Y)}{\sqrt{v(X)} \sqrt{v(Y)}} \quad (13)$$

其中 m 和 v 分别表示均值和方差, X 和 Y 分别表示在一窗口大小范围内当前像素点和背景像素点。对于阴影区域, 前景点和背景点的互相关系数的绝对值 $|\rho(X, Y)|$ 应该是趋近于 1 的, 相反, 对于目标区域, $|\rho(X, Y)|$ 应该很小。但对于背景和前景都很均匀的区域, 采用灰度信息计算得到的互相关系数可能会产生较大的波动。针对这一问题, 考虑到像素点色度之间的相关性, 利用 YUV 颜色空间模型, 将像素点色度之间的相关性用 OI' 和 OI'_b 的点积来进行表示, 即

$$OI' \cdot OI'_b = (U, V) \cdot (U_b, V_b) \quad (14)$$

对于背景和前景都很均匀的目标区域, 采用亮度互相关性无法给出可靠的信息, 但是前景和背景在色度上应该存在很大的不同, 也就是, 其色度的相关性应该很小。基于上面的研究, 可以将像素点矢量之间的相关性表示为如下形式

$$\rho(OI, OI_b) = \frac{\frac{1}{MN} \sum_{i,j} (OI'_{ij} \cdot OI'_{bj} + Y_{i,j} Y_{b,j}) - \bar{Y} \bar{Y}_b}{\sqrt{v(OI)} \sqrt{v(OI_b)}} \quad (15)$$

$$v(OI) = \frac{1}{MN} \sum_{i,j} (OI'_{ij} \cdot OI'_{ij} + Y_{i,j} Y_{i,j}) - \bar{Y}^2 \quad (16)$$

$$v(OI_b) = \frac{1}{MN} \sum_{i,j} (OI'_{bj} \cdot OI'_{bj} + Y_{b,j} Y_{b,j}) - \bar{Y}_b^2 \quad (17)$$

与灰度图像的互相关系数有类似的性质, 对于阴影区域, 前景点和背景点的互相关系数 $|\rho(OI, OI_b)|$ 应该是趋近于 1 的, 相反, 对于目标区域, $|\rho(OI, OI_b)|$ 应该很小, 从而, 我们设

阴影, 否则判定为前景。但是我们发现, 在像素点亮度值和饱和度比较高的情况下, 投射了阴影前后背景区域的像素值可以近似为线性变化, 采用该方法可以获得比较高的精度。但是对于亮度值或者饱和度很低的像素点, 其色度分量是不可靠的, 从而引起色度畸变产生很大的波动, 使检测结果产生很大的误差, 如图 2 所示。图 2(a) 中用白色线条框起来为阴影区域, 我们分析了该阴影区域的饱和度, 并采用式(12)计算其色度畸变。从图 2(b) 可以看出, 该阴影区域的饱和度很低 (小于 0.1), 其色畸变波动很大, 此时仅采用色度分量无法将阴影和目标有效地区分开来。

立一个门限 T_ρ , 如果 $|\rho(OI, OI_b)|$ 大于 T_ρ , 则将其判定为阴影点, 否则将其判定为前景点。

4 实验结果与分析

我们应用上述的背景减除方法和阴影消除算法对室内的 intelligentroom 和 laboratory, 室外的 campus 标准序列图像进行了算法性能的验证。

为了能系统地验证算法的性能, 必须确定一个度量标准。在文[1]中提出利用阴影检测率 η 和阴影辨别率 ξ 进行阴影算法性能的测试, 定义如下

$$\eta = \frac{TP_S}{TP_S + FN_S}, \xi = \frac{\overline{TP_F}}{TP_F + FN_F} \quad (18)$$

在这里, 下标 S 表示阴影, F 表示前景。 TP 是真阳性的数目, 也就是被正确分类的像素点数目。 $\overline{TP_F}$ 是前景目标点减去检测成阴影点, 但实际上属于前景目标点的数目。

我们进行阴影检测的目的主要是为了提高运动目标检测的精度, 消除阴影对目标定位和目标形状的影响, 将阴影点误检测成背景点并不影响运动目标的提取, 也不会导致目标形状的扭曲, 我们更多关注的是如何降低将阴影点检测成目标点以及将目标点检测成阴影点的概率, 也就是提高阴影辨别率 ξ 。我们对测试图像序列分别等间隔地手工分割出目标和阴影区域各 50 帧图像, 并计算其阴影辨别率 ξ 。

在实验过程中, 我们采用相同的参数, 实验结果如图 3、4、5 所示, 参数 $T_\theta = 0.1$, $T_\rho = 0.6$ 。其中, 图 3 为室内单目标的情况, 背景并不发生改变, 运动目标的饱和度较低, 图 3(b) 为检测出的运动区域, 可以看出, 由于运动目标的遮挡, 会在墙壁上投射阴影。图 3(c) 为采用本文提出的阴影消除方法进行阴影消除和形态滤波后的结果。

图 4 为室内多目标的情况, 采用该方法仍可以取得很好的效果。

图 5 为室外刚体单运动目标, 运动目标的饱和度很低, 并

且噪声很大,从图 5(c)的阴影消除结果可以看出,采用该算法只会将少许的阴影检测成运动目标,仍旧可以获得较好的结果。

图 6 是对上述三种视频测试序列进行运动目标提取的结果。

表 1 为对上述三种测试视频序列进行阴影消除算法性能

的度量数据,也就是阴影辨别率 ξ , ξ 的值越高,表明将阴影点检测成目标点以及将目标点检测成阴影点的数目越少,阴影消除算法的性能就越好。从表 1 和实验结果可以看出,该算法由于充分考虑了亮度和饱和度对色度产生的影响,只会将少许的阴影点检测成目标点,获得较高的阴影辨别率,平均在 82%以上。

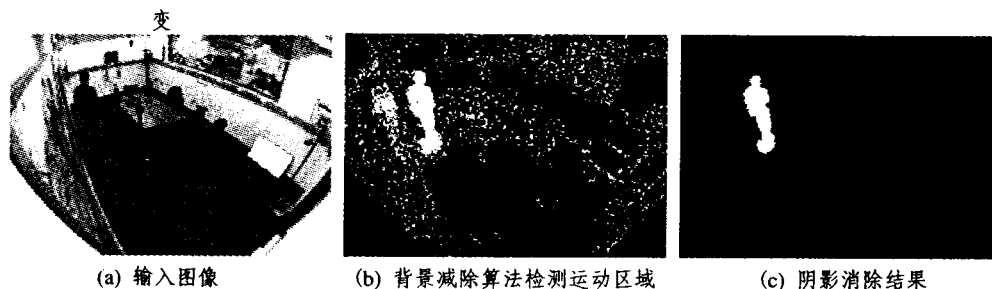


图 3 “intelligentroom”视频序列阴影消除结果



图 4 “laboratory”视频序列阴影消除结果

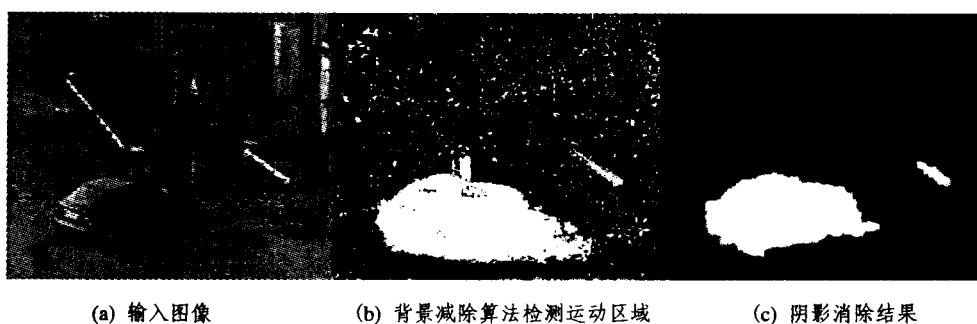


图 5 “laboratory”视频序列阴影消除结果

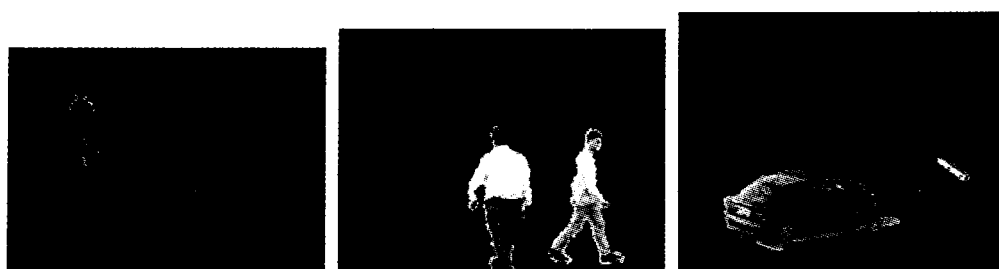


图 6 上述三种视频测试序列运动目标提取结果

表 1 不同测试序列的阴影辨别率

阴影分辨率 ξ	测试序列(参数: $T_0=0.1$, $T_p=0.6$)		
	intelligentroom	laboratory	campus
	0.8703	0.9193	0.8244

结论与展望 本文在研究运动目标检测和阴影消除算法的基础上,利用图像的色度信息和纹理信息,解决了运动目标阴影消除的问题。实验证明,本算法对刚体和非刚体;单目

(下转第 220 页)

和节省的运算量。表3为本文提出的快速算法和半像素全搜索算法的实验数据比较。

表3 采用不同半像素搜索法的实验数据比较

测试序列	算法	运算次数	节省运 算量/%	PSNR /dB	编码字 节数/ Bytes
Akiyo	全搜索	276471099	0.000	40.392	84571
	本算法	72423676	73.804	40.105	84161
Mother&Daughter	全搜索	265636016	0.000	36.200	83138
	本算法	67191033	74.706	35.789	83789
Coastguard	全搜索	264708767	0.000	29.331	85855
	本算法	72849272	72.479	29.098	85461
Foreman	全搜索	265850604	0.000	33.528	82237
	本算法	72532227	72.717	33.118	81976
Stefan	全搜索	254453213	0.000	26.832	79450
	本算法	67462969	73.487	26.291	79560
Mobile Calendar	全搜索	223831318	0.00	23.765	84682
	本算法	58199433	73.999	23.494	84985

分析 PSNR 可以得出:与半像素全搜索法相比,本算法可以提供几乎相同的视频质量,PSNR 平均下降 0.34dB。分析编码码流长度可以得出:码流字节数平均增长仅为 0.78%。从运算次数和节省运算量可以看出:与半像素全搜索算法相比,本文算法平均节省 73% 的计算量。比较结果表明:本文算法对重建视频质量和编码长度的影响很小,可以显著提高搜索速度。根据表 3 中六个 MPEG-4 标准测试序列的测试结果还可以看出:本算法具有很好的鲁棒性,对不同运动程度和空间细节的视频内容均可以获得很好的效果。

(上接第 214 页)

标、多目标;室内、室外;简单和复杂背景的视频序列都可以得到较好的检测效果,而且本算法不需要考虑光源的照射方向,场景的几何特征以及考虑如何对运动目标建模等问题。在执行算法时,需要调整的参数少,抗干扰能力强,可以较精确地提取出运动目标。此外,该算法复杂度较低,算法的运行速度不与目标数成正比,易于实现实时运动图像处理。

参考文献

- Prati A, Mikic I, Trivedi M M, Cucchiara R. Detecting Moving Shadows: Algorithms and Evaluation. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(7): 918~923
- Kilger M. A shadow handler in a video-based real-time traffic monitoring system. In: *Proc. Applications of Computer Vision*, Nov. - Dec. 1992, 11~18
- Stauder J, Mech R, Ostermann J. Detection of Moving Cast Shadows for Object Segmentation. *IEEE Trans. Multimedia*, 1999, 1(1): 65~76
- Haritaoglu I, Harwood D, Davis L S. W4: Real-Time Surveillance of People and Their Activities. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(8): 809~830
- Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, Prati A. Detecting Moving Objects, Ghosts, and Shadows in Video Streams. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(10): 1377~

结论 快速半像素运动矢量搜索算法利用半像素搜索窗内的误差匹配曲面单峰曲面的特性,通过比较整像素运动矢量周围四个整像素点的 SAD 值来预测最小匹配误差的下降方向,从而达到大大提高半像素搜索速度的目的。实验结果表明,对于各种不同运动程度的视频序列,本算法都可以获得和半像素全搜索法几乎相同的图像质量,同时平均节省 73% 的计算量。总之,本文提出的算法在搜索速度和搜索效果两方面更具优势,尤其适用于实时性要求比较高的场合。

参考文献

- Fukunaga S, Nakaya Y, Nagumo S S T. MPEG-4 video verification model version 14. 0 [S]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG99/N2932, Victoria, Australia, Oct. 1999
- Tourapis A M, Cl. Au O, Liou M L. Predictive motion vector field adaptive search technique (PMVFAST): enhancing block-based motion estimation [A]. In: *Proc. SPIE Vol. 4310 [C]. Visual Communications and Image Processing*, 2001. 883~892
- LI Bo, LI Wei, TU Yaming. A fast block-matching algorithm using smooth motion vector field adaptation search technique [J]. *Journal Comput. Sci. & Technol*, 2003, 18(1): 14~21
- Du Cheng, He Yun, Zheng Junli. PPHPS: A Parabolic Prediction-Based, Fast Half-Pixel Search Algorithm for Very Low Bit-Rate Moving-Picture Coding [J]. *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY*, 2003, 13(6): 514~518
- Zhou Bo, Chen Jian. A fast two-step search algorithm half-pixel motion estimation [J]. *ICECS IEEE*, 2003, 611~614
- 1342
- Mikic I, Cosman P, Kogut G, Trivedi M M. Moving Shadow and Object Detection in Traffic Scenes. In: *Proc. Pattern Recognition*, Sept. 2000. 321~324
- Nadimi S, Bhanu B. Physical Models for Moving Shadow and Object Detection in Video. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2004, 26(8): 1079~1087
- Kato J, Watanabe T, Joga S, Rittscher J, Blake A. An HMM-Based Segmentation Method for Traffic Monitoring Movies. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(9): 1291~1296
- Wren C R, Azarbayejani A, Darrell T, Pentland A P. Pfunder; Real-Time Tracking of the Human Body. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, 19(7): 780~785
- Kumar P, Sengupta K, Lee A. A comparative study of different color spaces for foreground and shadow detection for traffic monitoring system. In: *The IEEE 5th Intl. Conf. on Intelligent Transportation Systems*, 2002. 100~105
- Branca A, Attolico G, Distanto A. Cast shadow removing in foreground segmentation. *The 16th International Conference on Pattern Recognition*, Aug. 2002, 1: 214~217
- Grest D, Frahm J-M, Koch R. A Color Similarity Measure for Robust Shadow Removal in Real-Time. *VMV. Munich, Germany*, Nov. 2003