

基于改进的高斯混合模型的运动物体检测

王欢,邢丽冬,钱志余,殷威

(南京航空航天大学自动化学院,江苏南京 210016)

摘要:手术中医生的头、手等部位运动产生的阴影直接影响了手术的质量和病人的健康,为了检测出这些运动遮挡物,进而消除阴影,文中提出一种基于改进的高斯混合模型的运动物体检测方法。该方法从更符合人眼视觉特性的 HSV 色彩空间对图像进行建模并提取运动前景,改善了原算法性能;结合 HSV、RGB 色彩空间中的像素特征和差分算子进行阴影抑制,充分利用了阴影与运动物体的色彩信息;针对阴影边缘产生的干扰采用形态学操作消除,提高了检测结果的准确性。实验证明,本方法能准确地提取出运动物体,抑制噪声干扰,为进一步研究手术区域灯光补偿工作奠定基础。

关键词:运动物体;高斯模型;阴影抑制;HSV 色彩空间

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)12-0139-03

Moving Target Detection Based on Improved Gaussian Mixture Model

WANG Huan, XING Li-dong, QIAN Zhi-yu, YIN Wei

(Automation College of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Since the shadow caused by the motion of doctor's head, hands and other parts is directly related to the quality of surgery and patient's health in surgery. In order to effectively detect the moving occlude and apply it for shadow removal, a detection method of moving target based on improved Gaussian mixture model (GMM) is proposed. The GMM is built in HSV color space which is fit for human visual feature, improving its performance. The HSV and RGB color space feature and difference operator are considered to shadow suppression which is make full use of the color information of shadow and moving target. Finally, remove the disturbance of shadow by using morphological operation, improve the accuracy of detection result. The experimental result shows that this method can effectively detect the moving target, restrain noise interference and make foundation for further study of shadow removal.

Key words: moving target; Gaussian mixture model; shadow suppression; HSV color space

0 引言

手术无影灯是医院手术室必备的重要医疗设备之一,其光亮度及无影度等性能好坏将直接关系到手术的质量和病人的健康。因此,为了解决手术中实时动态消除人为阴影的技术问题,必须对手术区域中的运动遮挡物进行检测。目前检测运动物体的方法总体上可分三类:背景差分法^[1]、相邻帧差法^[2]和光流法^[3]。

光流法基于位移向量光流场,在场景运动或者照相机运动的情况下也能够监测并提取出独立的运动目标。但由于光流法本身算法复杂,抗噪声能力弱,在准确性等要求较高的场合下很少使用。相邻帧差法是对连续的图像序列中两个或三个相邻帧使用基于像素的图像差分方法并阈值化来提取出运动区域。相邻帧差法的差分效果受光照影响较小,自适应性强,但对有相

关特性的像素识别效果较差,提取的运动实体内部容易出现空洞。背景差法的思想是把背景图像与当前帧图像进行差分,然后取阈值对差值图像做二值化处理,进而提取出运动物体。背景差法对于背景固定场景具有较好的效果,如监控领域。

但是在手术环境中,背景图像会因为光照及手术进展而发生改变,就需要不断对背景图像进行更新,所以此时背景差分法应用的关键就是背景模型的建立及其更新算法的设计。

目前使用最多的背景模型是由 Crimson 和 Stauffer 提出的高斯混合模型(Gaussian Mixture Model, GMM)。高斯混合模型基于背景样本的统计学特性,对图像中每个像素点进行混合高斯建模,能够准确地表征图像的背景信息^[4]。传统的高斯混合模型在 RGB 色彩空间对图像中各个单独像素建模,并设定 RGB 分量相互独立,忽略了 RGB 三个分量携带信息的冗余,不能准确反映背景的特征,且提取出的运动前景常包含阴影干扰,容易产生空洞。

针对以上不足,文中对高斯混合模型进行了改进,

收稿日期:2012-03-12;修回日期:2012-06-20

基金项目:5D 数字式 LED 手术无影灯及其工作方法专利(CN1018 58537A)

作者简介:王欢(1986-),男,硕士研究生,研究方向为图像处理。

从 HSV 颜色空间对图像进行建模并提取运动前景,结合差分算子和阴影在 HSV、RGB 色彩空间中的特征进行阴影抑制,最后采用形态学操作去除了阴影边缘干扰,最终提取出运动物体。

1 基于高斯混合模型的运动物体检测算法

1.1 高斯混合模型

高斯模型就是用高斯概率密度函数(正态分布曲线)对事物进行精确的量化,将单个事物分解成数个基于高斯概率密度函数形成的模型。

建立图像高斯模型的原理及过程:图像的灰度直方图可以反映出图像中每个灰度值出现的频次,也可以看成是图像灰度的概率密度。如果图像中的目标区域和背景区域差异比较大,则目标区域和背景区域在灰度上会存在一定差异,该图像的灰度直方图也会呈现双峰-谷形状,两个峰分别对应于背景和目标的中心灰度。对于比较复杂的图像,尤其医学图像,其灰度直方图一般为多峰的。通过将直方图的多峰特性看作是多个高斯分布的叠加,进而可以建立图像的高斯模型,有利于解决图像分割问题。在运动目标检测中,背景与运动目标的区分至关重要,而建模正是区分背景与运动目标的一个重要环节。

混合高斯模型^[5,6]一般使用 k 个高斯模型来表征图像中各像素点的特征,每采一帧图片后,对混合高斯模型进行更新,对当前图像和混合高斯模型中的每个像素点进行匹配,根据匹配结果判定当前像素点是否为背景点。

传统的混合高斯建模通常在 RGB 色彩空间中进行建模,忽略了 RGB 三个分量携带信息的冗余,不能准确反应背景特征。因此,文中首先采用高斯建模的方法在更符合人类视觉特性的 HSV 色彩空间中进行建模,并提取出运动前景,为接下来进一步提取运动物体做准备。

在 HSV 色彩空间对图像进行混合高斯建模。根据用来描述各个像素点的 k 个高斯分布所分别具有不同的权值 $\omega_{i,t}$ ($\sum \omega_{i,t} = 1, i = 1, 2, \dots, k$) 及排列次序,设定适当的阈值和背景权值,判定其是否为背景分布。

设 x_t 为 t 时刻的一个像素值,其概率密度函数可以表达为 k 个高斯分布的线性组合,如式(1):

$$P(x_t) = \sum_{i=1}^k \frac{\omega_{i,t}}{(2\pi)^{d/2} |\text{Cov}_{i,t}|^{1/2}} \times e^{-\frac{1}{2}(x_t - \mu_{i,t})^T \Sigma_{i,t}^{-1} (x_t - \mu_{i,t})} \quad (1)$$

其中: $\omega_{i,t}$ 、 $\text{Cov}_{i,t}$ 和 $\mu_{i,t}$ 分别为在 t 时刻第 i 个高斯分布的权值、协方差矩阵和均值。为了计算简便,可记协方差矩阵为

$$\text{Cov}_{i,t} = \sigma_i^2 I \quad (2)$$

k 个高斯分布按 ω/σ 降序排列,这里取前 B 个高斯分布为背景分布,即

$$B = \arg \min_b \left(\sum_{i=1}^B \omega_{i,t} > T \right) \quad (3)$$

其中 T 为背景阈值。

1.2 阴影的物理模型

阴影是光线遮挡物部分或完全遮挡产生的,可分为自身阴影和投射阴影。自身阴影是指物体无法被光源直接照射到的部分,投射阴影是沿光源方向上的物体的投影。阴影的亮度和颜色会随着其所投影表面的不同而改变。

阴影点的特征可描述为^[7,8]

$$S_T(x, y) = U_T(x, y) \rho_T(x, y) \quad (4)$$

$$U_T(x, y) = \begin{cases} C_A + C_p \cos \angle(N(x, y), L) & \text{N.S} \\ C_A + Th(x, y) C_p \cos \angle(N(x, y), L) & \text{H.S} \\ C_A & \text{S} \end{cases} \quad (5)$$

式中: S_T 为像素点 (x, y) 处的灰度值; $U_T(x, y)$ 为光照强度; $\rho_T(x, y)$ 为物体表面的反射率; C_A 和 C_p 分别是周围光和主光源的强度值; $\angle(N(x, y), L)$ 为光源的方向与目标物体表面法向量之间的夹角; $Th(x, y)$ ($0 < T < 1$) 为半遮挡情况的软阈值; N.S、H.S、S 分别表示无阴影、半影、阴影。

阴影检测算法一般都会有 3 个假定:光源强;场景为静态,摄像机位置相对场景固定;阴影区域近似在同一平面。

阴影检测的第 1 步就是将当前帧和参考帧进行差分运算,根据式(4)可以描述为

$$D_T(x, y) = S_{T+1}(x, y) - S_T(x, y) \quad (6)$$

假设 $I(x, y)$ 在 $T+1$ 时刻光线被遮挡,根据假定 2,即背景静止,背景点的反射率 $\rho_T(x, y)$ 不变,于是可定义

$$\rho_{T+1}(x, y) = \rho_T(x, y) = \rho(x, y) \quad (7)$$

则式(6)可推导为

$$D_T(x, y) = \rho(x, y) C_p(x, y) \cos \angle(N(x, y), L) \quad (8)$$

根据假定 1,上式 C_p 值比较大,在理论上可以通过取一定阈值将阴影点差分出来。

1.3 阴影的 HSV 和 RGB 颜色特性

针对高斯建模提取出的运动前景会包含阴影等干扰,文中利用 HSV 颜色空间的颜色独立性^[9],阴影区域的饱和度和色度的改变相对较小,亮度值的变化相对较大,因此在 HSV 颜色空间中利用亮度分割出阴影区域效果明显^[10]。同时,文献[11,12]的研究表明在 RGB 色彩空间中,有阴影的背景区域在 R、G、B 3 个通道的灰度直方图进行了左平移,而直方图分布基

本不变,阴影边缘相对于运动物体存在明显差异。

因此,相比使用单一特征,结合阴影的 HSV 和 RGB 颜色特征会有更好的检测效果^[11]。

阴影判别算法如下:

$$S(x, y) = \begin{cases} 1 & V_{\text{new}}(x, y) < Th_V \& R_{\text{model}}(x, y) - R_{\text{new}}(x, y) > Th_R \\ & \& G_{\text{model}}(x, y) - G_{\text{new}}(x, y) > Th_G \& \\ & B_{\text{model}}(x, y) - B_{\text{new}}(x, y) > Th_B \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (9)$$

式中: V_{new} 、 R_{new} 、 G_{new} 、 B_{new} 分别为当前帧的亮度、红色分量、绿色分量、蓝色分量; Th_V 、 Th_R 、 Th_G 、 Th_B 分别表示相应的分量所取的阈值; R_{model} 、 $G_{\text{model}}(x, y)$ 、 $B_{\text{model}}(x, y)$ 分别表示背景图对应像素的 R, G, B 分量; $S(x, y) = 1$ 对应阴影区域。

1.4 差分算子

文中在采用阴影 HSV 和 RGB 颜色特性提取运动物体的同时,结合使用差分算子^[13]对运动物体进行提取,减少干扰。如图 1 所示,设中心像素位置为 (m, n) ,其对应的颜色分量值为 $f(i, j)$,则差分算子可以用下式来表示:

$$T_c = 8f(m, n) - f(m-1, n-1) - f(m-1, n) - f(m-1, n+1) - f(m, n-1) - f(m, n+1) - f(m+1, n-1) - f(m+1, n) - f(m+1, n+1) \quad (10)$$

设计此算子的数学意义就是用彩色图像上的各颜色分量和高斯-拉普拉斯模板作卷积运算,卷积的结果 T_c 作为判定某一像素点是否位于阴影区的阈值。对于不同的图像,阈值 T_c 的大小也是不同的。

$(m-1, n-1)$	$(m-1, n)$	$(m-1, n+1)$
$(m, n-1)$	(m, n)	$(m, n+1)$
$(m+1, n-1)$	$(m+1, n)$	$(m+1, n+1)$

图 1 高斯-拉普拉斯模板示意图

至此,已完成初步提取运动物体的工作,但提取结果中仍会残留阴影边缘所带来的干扰,针对此问题文中提出采用形态学操作进行去除。

1.5 形态学操作

图像形态学操作的基本思想是采用具有一定形态的结构元素对图像中的对应形状进行度量和提取,从而达到对图像分析和识别的目的。其基本操作包括:二值化腐蚀和膨胀、二值开闭运算等。

针对提取得到的运动物体中常会存在阴影的边缘干扰的问题,考虑到存在的阴影边缘干扰通常为较窄的环形区域,且面积不大,文中提出的方法包括以下步骤:

(1) 对初步提取的运动物体采用腐蚀的方法,将

此环形区域腐蚀为面积较小的联通区域,并计算出其面积 S ;

(2) 再根据实际情况设定阈值 T_s ,当联通区域面积 S 小于阈值 T_s 时舍去;

(3) 重复执行前两步,将阴影的边缘干扰消除;

(4) 对所得到的区域进行膨胀处理,最终得到满意的运动物体图像。

2 实验与比较

为验证文中算法,在实验室模拟了手术光照环境,以手作为运动遮挡物并进行了相关实验,检测效果如图 2,其中:

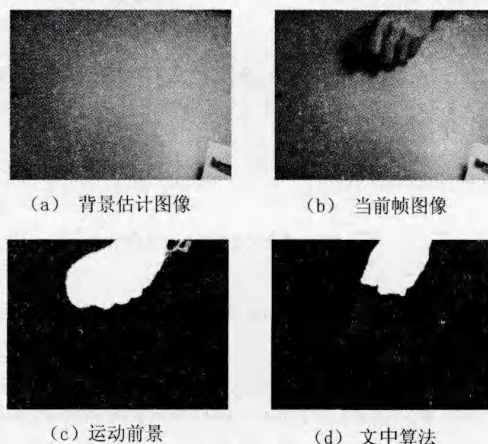


图 2 算法检测结果

图(a)为实验的背景估计图像,采用实验桌作为背景进行了实验;

图(b)为有运动物体进入背景区域的图像,实验中以手作为运动物体,进行提取;

图(c)为在 HSV 色彩空间中对图像进行高斯建模提取的运动前景图像,可以看到阴影部分也被当作运动物体提取出来;

图(d)为采用文中算法最终检测得到的运动物体。

从实验结果可以看出,采用文中算法的检测效果能够较好地检测出运动物体,抑制了阴影,检测效果准确,减少了边缘干扰。

3 结束语

文中提出一种基于改进的高斯混合模型,结合差分算子和图像颜色信息,并采用高级形态学操作消除阴影边缘干扰的运动物体检测算法。该算法无需场景、光照等先验知识,实验结果表明本算法能够有效地从目标区域检测出运动物体,从而为手术区域灯光补偿工作做好准备。

(下转第 145 页)

米,这说明具有逆向蚁群的自平衡策略的改进蚁群算法提高了原有ACO算法的性能,有效解决了ACO算法易陷入局部最优的问题,也保证了算法的收敛。

4 结束语

通过实现蚁群算法求解高校路网最短路径,发现了算法在求解过程中的不足,并提出改进方案。改进的ACO算法引入了逆向蚁群和自平衡策略的思想和求解方法,对蚁群的状态转移概率和算法求解步骤做了改进,扩大了解的搜索空间,增强了解的多样性,有效解决了蚁群早熟收敛的问题。

实验结果表明改进的ACO算法不仅能有效求解高校路网两点间的最短路径,而且有效解决了无用的正反馈信息对蚁群求解最短路径的干扰,提高了ACO算法的性能。对于具有NP难度的路网问题,可将此算法扩充来适应更大网络的最短路径求解。这样算法的理论研究与应用研究也具有了一定的实际意义。

参考文献:

- [1] Dorigo M, Gambardella L M. Ant colonies for the traveling salesman problem[J]. *BioSystems*, 1997, 43(2): 73-81.
 - [2] Dorigo M. Special section on ant colony optimization[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2002, 6(4): 317-319.
 - [3] Colomni A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies[C]//*Proc of 1st European Conf on Artificial Life*. Paris, France; Elsevier Publishing, 1991: 134-142.
 - [4] 马良, 项培军. 蚂蚁算法在组合优化中的应用[J]. *管理科学学报*, 2001(2): 32-37.
 - [5] Hochbaum D S. Approximate algorithms for NP-hard problem[M]. [s. l.]: PWS Publishing Company, 1997: 181-184.
 - [6] 陈立潮, 刘佳, 吕亚男. 带杂交算子的蚁群算法求解动态网络中的最短路径问题[J]. *计算机工程与科学*, 2007, 29(5): 81-83.
 - [7] 朱绍伟, 徐夫田, 滕兆明. 一种改进蚁群算法求解最短路径的应用[J]. *计算机技术与发展*, 2011, 21(7): 202-205.
 - [8] 占志刚, 张求明, 张盛意, 等. 一种改进的自适应蚁群算法求解TSP问题[J]. *计算机与数字工程*, 2010, 38(2): 11-14.
 - [9] 杨延庆, 李鹏飞, 何博. 求解TSP问题的改进最大最小蚁群算法[J]. *西安工程大学学报*, 2010, 24(6): 818-820.
 - [10] 吴建辉, 章兢, 刘朝华. 基于自适应多态免疫蚁群算法的TSP求解[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(5): 1653-1658.
 - [11] 张煜东, 吴乐南, 王水花, 等. 基于隶属云模型蚁群算法与LK搜索的TSP求解[J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(14): 46-54.
 - [12] 王更生, 俞云新, 蔡求元, 等. 基于DACS3的改进蚁群算法求解TSP问题[J]. *华东交通大学学报*, 2010, 27(2): 57-61.
 - [13] Dorigo M, Caro G D. Ant colony optimization: a new meta-heuristic[C]//*Proc. of the 1999 congress on evolutionary computation*. Washington: IEEE Press, 1999.
 - [14] Ahn C W, Ramakrishna R S. A genetic algorithm for shortest path routing problem and the sizing of populations[J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, 6(6): 566-579.
-
- (上接第141页)
- #### 参考文献:
- [1] Zheng J, David D, Zhang Y, et al. An Algorithm for Video Monitoring under a Slow Moving Background[C]//*IEEE Proceedings of First International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. [s. l.]: [s. n.], 2002: 1626-1629.
 - [2] Du Y, Zhou A, Yuan F. Moving Object Detection for Video Monitoring Systems[C]//*Proceedings of the 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*. [s. l.]: [s. n.], 2007: 814-817.
 - [3] 朱克忠. 基于光流法对移动目标的视频检测与应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
 - [4] Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]//*Proceedings of the 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Fort Collins, CO; [s. n.], 1999.
 - [5] 王勇, 谭毅华, 田金文. 基于阴影消除和混合高斯模型的视频分割算法[J]. *光电工程*, 2008, 35(3): 21-25.
 - [6] 陈云峰. 图像高斯混合模型的判别学习方法[D]. 北京: 北京理工大学, 2009.
 - [7] 吴岳洲, 熊运余. 基于HSV颜色空间检测与Gabor筛选器的阴影检测[J]. *光子·激光*, 2009, 20(12): 1626-1630.
 - [8] 叶丽燕, 赵建民, 朱信忠. 基于梯度特征的阴影检测方法[J]. *计算机技术与发展*, 2009, 19(10): 70-72.
 - [9] 胡勇, 赵春霞. 单幅室外自然场景中的阴影检测与消除[J]. *南京理工大学学报(自然科学版)*, 2011, 35(1): 1-5.
 - [10] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Improving Shadow Suppression in Moving Object Detection with HSV Color Information[C]//*Proc. of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*. Oakland, USA: IEEE Press, 2001: 334-339.
 - [11] 林坤杰, 万晓冬. 基于边缘信息及光照方向的阴影检测算法[J]. *计算机工程*, 2009, 35(20): 192-193.
 - [12] 刘勃, 魏铭旭, 周荷琴. 混合交通环境中的阴影检测算法[J]. *信号处理*, 2005, 21(2): 172-177.
 - [13] 王军利, 王树根. 一种基于RGB彩色空间的影像阴影检测方法[J]. *信息技术*, 2002, 26(12): 7-8.