

背景分割和阴影检测算法研究

胡丹丹¹⁾ 高庆吉^{1),3)} 支源²⁾

¹⁾(中国民航大学机器人研究所,天津 300300) ²⁾(中国民航大学机电工程学院,天津 300300)

³⁾(天津市智能信号与图象处理重点实验室,天津 300300)

摘要 在基于视觉检测方式的泊位自动引导系统中,从序列图像中提取泊位飞机,检测泊位飞机的阴影区域,是泊位系统实现的关键。基于高斯混合模型背景分割算法被广泛应用于静态背景分割中,但是该算法在处理高分辨率图像时,算法实时性显著下降;分割体积大而且运动缓慢的物体时,容易产生“拖尾”现象;不能检测出运动物体的阴影区域。为此提出了基于分层图像的改进高斯混合模型背景分割算法,有效地克服了算法实时性差和“拖尾”现象。在此基础上,提出了基于色彩特征和区域特征相结合的阴影检测算法,利用部分空间约束信息,检测出运动物体的阴影区域。实验结果表明了该算法的有效性和实用性。

关键词 视觉泊位引导系统 高斯混合模型 背景分割 阴影检测

中图法分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)08-1486-06

Studies of Background Subtraction and Shadow Detection Algorithm

HU Dan-dan¹⁾, GAO Qing-ji^{1),3)}, ZHI Yuan²⁾

¹⁾(Robotics Research Institute, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300)

²⁾(Aeronautical Mechanics & Avionics Engineering College, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300)

³⁾(Tianjin Key Laboratory for Advanced Signal and Image Processing, Tianjin 300300)

Abstract Docking aircraft extraction from the captured image sequence and its shadow detection are the key works in the Visual Docking Guidance System. The algorithm based on Mixture of Gaussians (MOGS) is widely used to subtract static background. However, the real-time performance of the MOGS algorithm is reduced remarkably when high resolution image is processed, the “bad-tail” phenomenon occurs when slowly moving and large object is extracted, and the shadow of moving object can not be detected. An improved MOGS algorithm based on hierarchical image is proposed, and the problems of bad real-time and “bad-tail” phenomenon are solved. On this condition, a new shadow detection algorithm based on color character and region character is presented, partially spatial constraints are used, and the shadow of moving object is detected exactly. The experimental results in Visual Docking Guidance System show the validity and the practicality of the algorithms.

Keywords visual docking guidance system, mixture of Gaussians, background subtraction, shadow detection

1 引言

机场泊位引导是指引导飞机从滑行道行进至机坪停机位置,并准确停泊的过程。泊位引导系统可保障飞机安全准确停泊,保障飞机有效靠接廊桥。

在基于视觉检测方式的泊位自动引导系统中,从序列图像中提取泊位飞机,即进行泊位飞机的背景分割,是泊位系统实现的关键,其分割效果直接影响到泊位系统各项性能指标的实现。

基于混合高斯模型(MOGS)的背景分割算法是序列图像背景分割的常用方法^[1,2],其鲁棒性高、分

基金项目:国家自然科学基金委员会与中国民航总局联合资助项目(60672168);民航总局科技项目(MHRD0405)

收稿日期:2006-08-04; **改回日期:**2007-01-29

第一作者简介:胡丹丹(1979~),女。讲师。2004年于东北电力大学获控制理论与控制工程专业硕士学位。主要研究方向为机器视觉、智能机器人环境感知认知。E-mail: hudandan_0@sohu.com

割效果好。在此基础上,提出了许多改进的背景分割算法和阴影检测算法^[3-5],常用于室内或室外的监控系统中。在监控系统中,由于摄像机距离监控对象较远,运动物体成像面积较小,场景分辨率较低,MOGS 算法可以满足系统实时性要求,且不会产生尾部不能被完整分割的现象,即“拖尾”现象。但是,对高分辨率的图像序列,被分割的物体运动缓慢且成像面积比较大时,MOGS 算法的实时性显著下降,分割产生严重“拖尾”现象。在机场泊位自动引导系统的应用中,使用该算法分割泊位飞机就会出现上述现象,而且运动物体的阴影会被误判为运动物体的一部分,这将增加后续工作中跟踪算法和姿态评估算法的复杂度。

针对上述问题,提出了基于分层图像的改进 MOGS 算法,有效解决了算法实时性差和运动物体分割产生的“拖尾”现象。在此基础上,提出了基于色彩特征和区域特征相结合的阴影检测算法,用于检测运动物体的阴影区域。

2 混合高斯模型算法

MOGS 算法^[1]把图像的每个像素看成一个加入白噪声的随机变量,图像序列由一系列像素序列 $\{X_0, X_1, \dots, X_{t-1}, \dots\}$ 组成, t 为时间,每个像素序列近似满足高斯分布,且像素之间相互独立。户外场景光照变化引起像素特征向量 $X_t = (r_t, g_t, b_t)$ 的变化满足像素序列的高斯分布,而进入场景中的运动物体引起的 X_t 变化不满足像素序列的高斯分布。

使用 K 个高斯分布模型对某一个像素序列进行背景建模, K 一般取 3 到 5,那么像素特征值 X_t 发生的概率如下式所示。

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} \eta(X_t | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (1)$$

$$\eta(X_t | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_{i,t}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(X_t - \mu_{i,t})^T \Sigma_{i,t}^{-1} (X_t - \mu_{i,t})} \quad (2)$$

式中, $\omega_{i,t}$ 是像素 X_t 背景模型中第 i 个高斯分布权重; $\mu_{i,t}$ 和 $\Sigma_{i,t}$ 分别是背景模型中第 i 个高斯分布的均值和协方差矩阵。

引入概率阈值 T_p , 如果 $P(X_t) \geq T_p$, 则认为 X_t 满足图像序列分布,为背景点,否则为前景点,并标记为 $Mask(X_t)$,如下式所示。

$$Mask(X_t) = \begin{cases} 1 & P(X_t) \geq T_p \\ 0 & P(X_t) < T_p \end{cases} \quad (3)$$

K 个高斯分布背景模型按照 ω/σ 的值从大到小进行排列,当满足式(4)的第一个 B 分布出现时,新出现 B 分布替换 K 个高斯分布背景模型中 ω/σ 最小的分布, T 为选择的阈值。详细算法请参阅文献[1]。

$$B = \operatorname{argmin}_b \left(\sum_{k=1}^b \omega_k > T \right) \quad 1 \leq b \leq K \quad (4)$$

3 基于分层图像的改进 MOGS 算法

为了提高算法的实时性,抑制“拖尾”现象的产生,提出基于分层图像的改进 MOGS 算法。

3.1 背景序列的分层机制

背景序列的分层机制是先对原始图像序列中的每一帧图像进行分层预处理,使用高斯产生核

$$g(m, n, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp(- (m^2 + n^2) / \sigma^2) \quad (5)$$

与 $l-1$ 层图像 $S_{l-1}(x, y)$ 进行卷积运算得到 l 层图像

$$S_l(x, y) = k \sum_{m=-a}^a \sum_{n=-b}^b g(m, n, \sigma) S_{l-1}((2a+1)x + m + a, (2b+1)y + n + b) \quad (6)$$

式中, a 、 b 为常数。 k 为高斯产生核归一化系数, $k = \frac{1}{\sum_{m=-a}^a \sum_{n=-b}^b g(m, n, \sigma)}$ 。从而形成金字塔形的分层图像结构,如图 1 所示。 $l=0$ 时图像 S_0 具有最高的分辨率,随着 l 的增大图像分辨率下降,而 $l=L$ 时图像 S_L 的分辨率最低。其中, S_0 层图像一般为系统采集的原始场景图像。

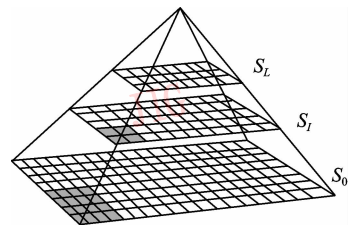


图 1 预处理形成的分层图像结构图

Fig. 1 The Hierarchical image structure by preprocessing

式(5)中, σ 的变化导致所保留图像特征的尺度发生变化。 σ 越大,图像的细节越少,只剩下大尺度特征,可以有效滤除高频噪声点。选择 S_l 层图像

序列,进行背景分割,把分割的结果映射到 S_0 层图像上,可以得到分割边界处有马赛克效果的分割结果。

3.2 改进的 MOGS 算法

MOGS 算法的背景更新机制是该算法的核心部分,更新机制决定了背景模型对环境变化的适应性,影响算法的鲁棒性。为了提高算法对环境的动态适应能力,模型更新应该满足以下条件:

- (1) 背景模型对背景变化的响应速度足够快;
- (2) 背景模型对运动目标有较强抗干扰能力。

像素特征值 X_i 符合背景模型的第 i 个高斯分布,第 i 个背景模型的参数更新如下式:

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho) * \mu_{i,t-1} + \rho * X_i \quad (7)$$

$$\sigma_{i,t}^2 = (1 - \rho) * \sigma_{i,t-1}^2 + \rho(X_i - \mu_{i,t})^T (X_i - \mu_{i,t}) \quad (8)$$

$$\rho = a * \eta(X_i | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (9)$$

其他分布的模型参数保持不变。 K 个分布权值均进行更新,更新如下式:

$$\omega_{k,t} = (1 - a) * \omega_{k,t-1} + a * M_{k,t} \quad (10)$$

$$M_{k,t} = \begin{cases} 1 & k = i \\ 0 & k \neq i \end{cases} \quad (11)$$

式中, a 是更新速率, $0 < a < 1$ 。 a 过大可有效满足条件 1,但会引起背景的过度更新,不能满足条件 2 的要求,易产生“拖尾”现象,特别是运动缓慢且成像面积大的物体,“拖尾”现象更加严重。 a 过小可以满足条件 2,不易产生“拖尾”现象,但是对环境变化的适应能力不强,不能有效满足条件 1 的要求。为此,对背景模型的更新算法进行了改进,如下式所示。

$$a = \begin{cases} k * a_f & Mask(X_i) = 0 \\ k * a_b & Mask(X_i) = 1 \end{cases} \quad (12)$$

式中, a_f 是前景更新参数,用来调节缓慢运动物体融入到背景中需要的时间,当被分割物体的面积较大时, a_f 取较小值,从而避免“脱尾”等现象的产生。 a_b 为背景更新参数,决定背景参数 μ 、 σ 和 ω 的更新速率,通过实验确定其取值。一般满足 $0 < a_f < a_b < 1$ 。在实际应用中,为了更好适应环境的快速变化,可以统计前景点的数目,并结合跟踪和识别的结果动态更新控制参数 k ,从而控制整个背景的更新速度。

每个高斯分布的均值 μ 和方差 σ 的取值方法有两种:(1) 指定方差 σ 为一个较大常数,一般在 10 ~ 20 之间,均值 μ 使用采集到的一帧图像计算,随

着算法的运行, σ 和 μ 逐渐逼近真实值;(2) 预先采集一个图像序列,统计其对应像素点的 μ 和 σ ,作为算法运行的初始条件,随着算法的运行, σ 和 μ 逐渐逼近真实值。

3.3 基于分层图像的改进 MOGS 算法

基于分层图像的改进 MOGS 算法是先对原始图像序列中的每一帧图像进行分层预处理,然后选择图像序列的某一层 S_i ,使用改进的 MOGS 算法进行背景分割,最后,把分割完的结果按像素一对多映射到底层 S_0 图像上,得到分割结果。

4 基于色彩和区域特征的阴影检测

运动物体的阴影被标记为前景会增加物体跟踪、匹配算法以及姿态评价算法的复杂度。有效检测出运动物体的阴影区域是很重要的工作。

目前的阴影检测算法大多应用阴影的色彩特征进行检测,对场景和运动物体的几何特征、光照的方向等都有要求^[3,6,7];部分阴影检测算法^[5,8]使用了空间约束条件对阴影区域进行检测,取得较好效果。文章在上述背景分割算法的基础上,提出基于阴影的色彩特征和区域特征相结合的阴影检测方法,使用部分空间约束信息,准确有效地分割出运动物体的阴影区域。

4.1 基于色彩特征的阴影检测算法

把背景分割后的前景点的像素信息从 rgb 空间转换到 HSV 空间。阴影覆盖区域和背景区域相比较,区域像素的 V 值和 S 值降低, H 值和 S 值变化较小, rgb 空间中 b 分量变化较大。实际应用中,阴影的纹理信息越多, H 值和 S 值变化越小。满足式 (13) 的前景点标记为阴影点,记为 $SPoint(x, y)$ 。

$$SPoint(x, y) = \begin{cases} 1 & \alpha \leq \frac{I^V(x, y)}{B^V(x, y)} \leq \beta \quad \Lambda \\ & |I^S(x, y) - B^S(x, y)| \leq \tau_s \quad \Lambda \\ & |I^H(x, y) - B^H(x, y)| \leq \tau_H \quad \Lambda \\ & |I^b(x, y) - B^b(x, y)| \geq \tau_b \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (13)$$

式中, $I(x, y)$ 和 $B(x, y)$ 分别代表像素 (x, y) 处当前像素和背景像素;上标 H、S、V、b 分别代表 HSV 空间的像素特征和 rgb 空间的 b 特征分量。适当选择参数 α 和 β 可以增加算法的鲁棒性:光线越强时,

α 选择越小; β 变大可以有效抑制噪声, 一般满足 $0 < \alpha < \beta < 1$ 。

基于色彩特征的阴影检测算法鲁棒性较差, 主要原因在于阴影判别参数 α 、 β 、 τ_H 、 τ_S 的选择。运动物体离摄像机远时, 阴影的纹理信息比较少, 运动阴影区域不能很好满足式(13)的条件, 为了有效检测阴影区域, 必须放大参数 τ_S 和 τ_H , 但是, 较大的 τ_S 和 τ_H 会导致灰度值比较低的运动区域被误判为阴影区域。

4.2 基于色彩特征和区域特征的阴影检测算法

一般情况下, 阴影覆盖区域近似为色彩均匀区域。将阴影的色彩特征与区域特征相结合, 利用部分空间约束信息, 分割运动物体的阴影区域。具体步骤如下:

(1) 使用基于色彩特征的阴影检测算法进行阴影分割, 得到阴影区域样本点的灰度特征 $\{Y_0, Y_1, \dots, Y_n\}$, n 为样本点的个数(样本点可能包含非阴影区域中的点);

$$Dis_{rgb}(R_i, R_j) = \sqrt{(r(R_i) - r(R_j))^2 + (g(R_i) - g(R_j))^2 + (b(R_i) - b(R_j))^2}$$

$$H(R_i, R_j) = \min_{a \in R_i} \min_{b \in R_j} \|a - b\| \quad T_{rgb} = \hat{\mu}_r + \hat{\mu}_g + \hat{\mu}_b + \alpha_{rgb} \cdot (\hat{\sigma}_r + \hat{\sigma}_g + \hat{\sigma}_b)$$

式中, $Dis_{rgb}(R_i, R_j)$ 为区域色度的相似性距离, $r(R_i)$ 、 $g(R_i)$ 、 $b(R_i)$ 分别为区域 R_i 上 rgb 分量的均值; $H(R_i, R_j)$ 为区域边界点集合的最小距离; a 和 b 分别为区域 R_i 和 R_j 的边界点; T_{rgb} 为阈值, $\hat{\mu}_r$ 、 $\hat{\mu}_g$ 、 $\hat{\mu}_b$ 、 $\hat{\sigma}_r$ 、 $\hat{\sigma}_g$ 、 $\hat{\sigma}_b$ 分别为区域 R_i 、 R_j 合并后 rgb 空间上各分量的均值和方差, α_{rgb} 为控制系数。

③ 根据已知的特定空间约束条件, 对合并后的区域进行阴影识别。

④ 对部分易被误识别为阴影的区域, 可以根据区域的已知特征进一步识别。

(2) 阴影覆盖区的色彩比较相似, 近似满足高斯分布。使用样本点 Y 的灰度特征, 统计样本点的均值 μ_Y 和方差 σ_Y , 作为阴影区域的色彩特征;

(3) 扫描已经分割出的前景区域, 标记满足参数为 (μ_Y, σ_Y) 分布的前景点, 得到疑似阴影区域。

(4) 对疑似阴影区域和前景中其他区域进行特征提取, 包括各区域的边界点集合、区域周长和区域中心点坐标。根据以下规则进行阴影区域识别:

① 非疑似阴影区域和疑似阴影区域边界点集合的关系。如果非疑似阴影区域包含某个疑似阴影区域, 那么该区域不是阴影区域, 即非阴影区域内部一定不包含阴影区域。

② 色彩特征相似的区域进行合并。对任意疑似阴影区域 R_i 和 R_j , 满足式(14)时, 区域 R_i 和 R_j 进行合并。

$$Dis_{rgb}(R_i, R_j) \leq T_{rgb} \quad H(R_i, R_j) \leq T_{point} \quad (14)$$

式中,

5 实验结果

通过对天津滨海国际机场的飞机泊位视频序列进行处理, 重点比较在 S_0 层、 S_1 层上改进 MOGS 算法的分割效果及基于色彩特征和区域特征的阴影检测效果。

图2(a)为飞机泊位视频图像, 分辨率为 640×480 pixels; 图2(b)为分层变换后 S_1 层上的泊位图像, 分辨率为 213×160 pixels; 图2(c)为使用 MOGS 算法分割飞机泊位图像的效果图, 存在严重“拖尾”现象。



图2 MOGS 算法分割效果图

Fig. 2 Background subtraction results of MOGS

图 3(a) 为 S_0 层上改进 MOGS 算法的分割效果图;图 3(b) 为 S_1 层上改进 MOGS 算法的分割效果图,在边缘上出现“马赛克”现象,但其对泊位飞机特征提取、跟踪和定位等后续工作无影响。在改进 MOGS 算法中,使用 3×3 高斯产生核模板对图像进行分层,其运算量远小于 MOGS 算法运算量的 $1/9$;

而 S_1 层上 MOGS 算法的运算量是 S_0 层上 MOGS 算法运算量的 $1/9$,因此,基于改进算法的运算量远低于 MOGS 算法运算量的 $2/9$,大幅度提高了运动物体分割的速度。当高斯产生核使用更大模板时,可以进一步提高运算速度,但会产生严重的“马赛克”现象。实验中, a_r 取 0.15, a_b 取 0.55。



图 3 基于分层图像的改进 MOGS 分割结果图

Fig. 3 The subtraction of improved MOGS based on hierarchical image

图 4 中,灰色区域为检测的阴影区域。图 4(a) 和图 4(b) 相比较,图 4(c) 和图 4(d) 相比较可以发现,使用基于色彩特征和区域特征的阴影检测算法不会产生灰度较低区域被误判为阴影区域的现象。在实际应用中,识别规则根据现场情况作适当调整,泊位飞机的阴影不会出现在泊位飞机区域的上部,在阴影识别规则中加

以限制。部分易被误判为阴影的区域如发动机处,可以根据区域特征进一步识别。该算法虽然增加了计算量,但可以克服阈值 T_{rgb} 为固定常数时在区域色彩相似性度量上的不利因素。实验中, α_{rgb} 设为 2.5; T_{point} 设为 5。在 S_1 层图像上,该算法的处理速度为 12fps,满足泊位引导系统的实时性要求。

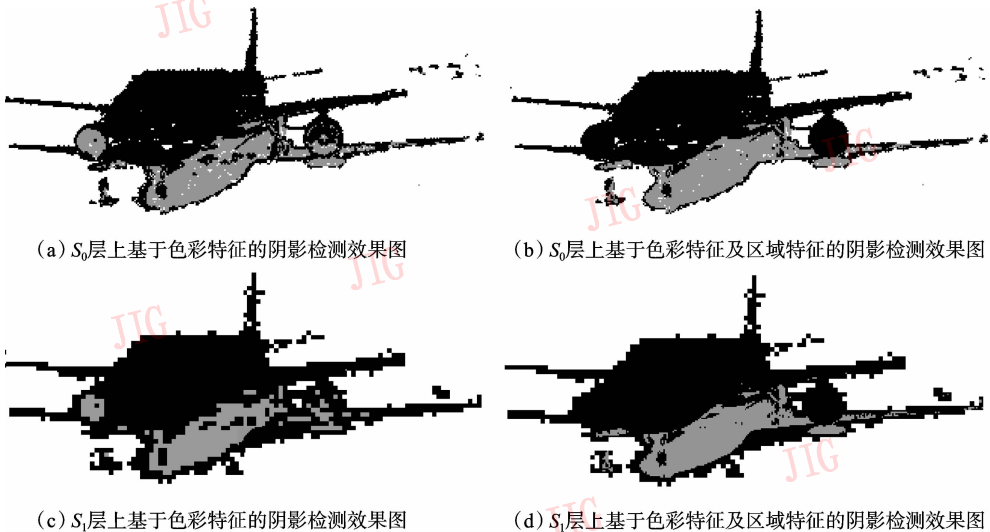


图 4 阴影检测效果图

Fig. 4 The image of shadow detection

6 结 论

针对高斯混合模型背景分割算法在处理高分辨

率图像时算法实时性显著下降、运动物体产生“拖尾”现象,提出了基于分层图像的改进高斯混合模型算法,首先对原始图像进行分层预处理,选择图像序列的某一层使用改进的 MOGS 算法进行背景分

割,有效解决了算法实时性差和“拖尾”现象。在此基础上,提出了基于色彩特征和区域特征的阴影检测算法,根据色彩特征和区域特征,使用简单的阴影区域识别规则,克服了灰度较低区域被误判为阴影区域的现象,准确检测出运动物体的阴影区域。实验结果证明了上述算法的有效性。本文没有使用区域跟踪对阴影区域进行进一步确认,在以后的工作中将进一步研究和完善。

参考文献 (References)

- 1 Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking [A]. In: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C], Colorado, 1999, 2:246 ~ 252.
- 2 Stauffer C, Grimson W E L. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747 ~ 757.
- 3 Zong Qi, Reinhard K. Robust background subtraction and maintenance [A]. In: Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition[C], Cambridge, UK, 2004, 2:90 ~ 93.
- 4 Ning Hua-zhong, Wang Liang, Hu Wen-ting, et al. Model-based tracking of human walking in monocular image sequences [A]. In: Proceedings of IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering [C], Beijing, China, 2002, 1:537 ~ 540.
- 5 Bevilacqua A. Effective shadow detection in traffic monitoring applications [J]. Journal of WSCG, 2003, 11(1): 57 ~ 64.
- 6 Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Cast shadow segmentation using invariant color feature [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 95(2): 238 ~ 259.
- 7 Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems [C], Oakland, USA, 2001: 334 ~ 339.
- 8 Mikic I, Cosman P C, Kogut G T, et al. Moving shadow and object detection in traffic scenes [A]. In: Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition [C], Barcelona: IEEE Publishers, 2000, 1: 321 ~ 324.