

一种自适应的双门限场面运动目标检测方法

吴敏¹ 吴宏刚¹ 姚辉¹ 王凯² 蒋李¹

(中国民用航空总局第二研究所科研开发中心 成都 610041)¹ (四川大学电气信息学院 成都 610065)²

摘要 为了解决在复杂环境下机场场面运动目标的精确检测问题,提出了一种自适应的双门限场面运动目标检测方法。首先采用混合高斯背景模型的方法来提取背景图像,然后使用两个门限值对差分图像进行前景目标分割,低门限阈值用于粗分割以检测出较明显的运动目标,在粗分割的基础上再用高门限阈值进行细分割以去除噪声目标和伪目标,最终得到场面运动目标的准确检测和分割结果。在复杂条件下的场景进行的实验,验证了该方法具有良好的噪声抑制能力和对慢目标良好的鲁棒性,同时能有效地分割出前景目标。

关键词 双门限,混合高斯背景模型,背景图像,差分图像,前景目标

中图分类号 TP317.4 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.1.069

Adaptive Double-threshold Detection Method of Airport Surface Moving Target

WU Min¹ WU Hong-gang¹ YAO Hui¹ WANG Kai² JIANG Li¹

(Research and Development Center, The 2nd Research Institute of Civil Aviation Administration of China, Chengdu 610041, China)¹

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)²

Abstract To solve the accurate detection of air surface moving targets effectively under complicated environment, an adaptive double-threshold detection method of airport surface moving target was proposed. Firstly, Gaussian mixture model is adopted to extract the background image, and then foreground object of difference image is partitioned off by means of the two threshold value. Namely, low-threshold is used for coarse segmentation to detect moving object, which is obvious. In addition, high-threshold is used for fine segmentation to remove noise target and false target based on coarse segmentation. Finally, airport surface moving target is detected and segmented accurately. The experimental results of complicated background show that this method can avoid the noise, has robustness for the slower moving target and is effective for detecting.

Keywords Double-threshold, Gaussian mixture model, Background image, Difference image, Foreground object

随着我国民用航空事业的发展,建立一套高效快速的机场场面远程视频监控系统,对场面和空中可视范围内的飞机进行实时监控更显必要。场面运动目标检测是机场场面视频监控系统的核心技术,它能够检测出运动目标的大小、位置等基本信息,是场面目标跟踪和数据融合的基础。所以场面运动目标检测方法的好坏直接影响到整个实时视频监控系统的优劣。

根据混合高斯模型的方法^[1]完成背景提取后,分割门限值的选取对运动目标的检测极为关键。现有成熟的目标检测技术中,门限值的选取通常采用固定门限值或自适应门限值等方法。固定门限值方法具有实现简单、计算速度快等特点,适合简单的场景,但是当遇到较复杂的场景及光照变化、目标与背景颜色接近时往往检测失败,所以该方法适应性较差,例如门限值较低时会出现噪声淹没前景目标的现象,运动目标的检测和跟踪完全失效;当门限值较高时,噪声会被很好地

消除,但正确的前景目标也可能被抑制掉,尤其是场面上较小的运动目标。然而自适应门限值的方法^[2-4]在门限选取策略上考虑背景和前景的差异,根据灰度统计信息选取某个比例的灰度作为门限值进行背景和前景目标的分割。该方法常用在基于对比度分析的目标检测中,对于天空背景下目标的检测有很好的效果。

本文针对机场特定环境中跑道和滑行道上场面运动目标较大,运动目标间距较大,场面运动目标较少的特点,提出了一种自适应的双门限场面运动目标检测方法。其基本思想是在完成背景提取后,使用两个门限值对差分图像进行前景目标分割,低门限阈值用于粗分割以检测出较明显的运动目标,在粗分割的基础上再用高门限阈值进行细分割以去除噪声目标和伪目标,最终达到场面运动目标的准确检测。实验还比较了本文方法与传统 GMM 方法以及文献[4]方法在不同光照条件下的运动目标检测性能。

到稿日期:2014-02-13 返修日期:2014-05-05 本文受机场增强视景监视系统(2013EG125056),机场(III级)综合交通监视与引导系统(2011BAH24B06)资助。

吴敏(1983—),男,硕士,主要研究方向为虚拟现实、高性能计算, E-mail: minhang_wumin@163.com; 吴宏刚(1977—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为图像处理、模式识别; 姚辉(1983—),男,硕士,主要研究方向为模式识别、人工智能; 王凯(1989—),男,硕士,主要研究方向为模式识别、图像处理; 蒋李(1985—),男,硕士,主要研究方向为嵌入式处理、多媒体通信。

1 混合高斯背景模型建立

在混合高斯模型背景提取方法中,每个像素点的分布模型由多个单高斯分布模型组合而成。随着每一个像素点值的变化,更新高斯分布模型的参数,最后按照一定的准则来判断哪些单模型表示背景像素。具体实现方法如下:

1) 像素模型的定义及参数初始化

设 $\eta(X_t, u, \Sigma)$ 表示均值为 u 、协方差矩阵为 Σ 的高斯分布概率密度函数。可以用多个高斯分布的线性组合来模拟每个像素点的历史记录 $\{X_1, \dots, X_t\}$ 。假设用 M 个高斯分布来描述每个像素点的像素值分布,其概率密度函数分别记为:

$$\eta(X_t, u_{i,t}, \Sigma_{i,t}), i=1, 2, \dots, M \quad (1)$$

其中, t 表示时间, X_t 表示 t 时刻像素点的像素值。为便于计算,假设协方差矩阵为以下形式:

$$\Sigma_{k,t} = \sigma_k^2 I \quad (2)$$

其中, I 为单位矩阵,即假设每个像素点的像素值相互独立并且方差相同。这不一定符合实际情况,在检测精度上可能有少许下降,但是避开了矩阵求逆复杂的运算。因此,单高斯分布模型的概率密度表示为:

$$\eta(X_t | u_{i,t}, \sigma_{i,t}) \quad (3)$$

当前像素值 X_t 在 M 个混合高斯分布下的概率为:

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^M w_{i,t} \times \eta(X_t | u_{i,t}, \sigma_{i,t}) \quad (4)$$

其中, $w_{i,t}$ 表示该单高斯分布模型的权值,即当前该模型表示像素的可靠程度。 M 表示单模型的个数,体现了像素多峰分布的峰的个数。

在初始化混合高斯模型时,首先计算一段时间内视频序列图像中每一个像素点的均值 u_0 和方差 σ_0^2 ,然后采用 u_0 和 σ_0^2 来初始化高斯混合模型中 M 个高斯分布的参数,即:

$$u_0 = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} X_t \quad (5)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} (X_t - u_0)^2 \quad (6)$$

在对混合高斯模型的参数初始化速度要求不高的情况下,像素点每个色彩通道的灰度范围为 $[0, 255]$,可以把 M 个高斯分布的方差直接初始化为较大的 σ_0^2 值,而第 i 个高斯分布的权重和均值分别为:

$$w_i = 1/M \quad (7)$$

$$u_i = 255 \times (i/M), i=1, 2, \dots, M \quad (8)$$

2) 像素模型参数的更新

混合高斯模型的参数更新较为复杂,它不仅要更新高斯分布函数的参数,包括均值和方差,还要更新各分布函数的权重,具体步骤如下:

a) 对于每一个像素值,首先判断它是否匹配于这个模型,判断准则如下:

对于 M 个单峰分布,分别检验这个像素值是否与其中之一匹配:

$$\begin{cases} 1, & |X_t - u_{i,t}| < \lambda \sigma_{i,t} \\ 0, & |X_t - u_{i,t}| \geq \lambda \sigma_{i,t} \end{cases} \quad (9)$$

其中, 1 表示匹配, 0 表示不匹配。 λ 是根据经验设定的常数,通常取 2.5^[4]。

b) 执行完以上的检测,针对两种可能情况有不同的参数更新方法。

匹配情况:如果匹配的模型不止一个,就认为只有一个最优的匹配,这时需要减小非匹配的单模型的权值 $w_{i,t}$:

$$w_{i,t} = (1 - \alpha) w_{i,t-1} \quad (10)$$

权重体现了像素出现概率的大小,当一个新像素值与高斯分布中某一模型匹配时,说明该单模型较为符合当前像素值的分布,所以需要适当增加其权重,也就是减小与该像素不匹配的其余 $M-1$ 个模型的权重,需要更新该模型的 $u_{i,t}$ 和 $\sigma_{i,t}^2$ 。具体方法如下:

$$u_{i,t} = (1 - \rho) u_{i,t-1} + \rho X_t \quad (11)$$

$$\sigma_{i,t}^2 = (1 - \rho) \sigma_{i,t-1}^2 + \rho (X_t - u_{i,t})^T (X_t - u_{i,t}) \quad (12)$$

$$\rho = \alpha \eta(X_t | u_{i,t-1}, \sigma_{i,t-1}) \quad (13)$$

对于没有与该像素匹配的单高斯模型,可以认为这个像素对这个单模型的分布未做任何贡献,所以不需要改变这个单模型的均值与方差。

不匹配情况:说明出现了新的分布形式,而该形式应该在多模型集合中,所以需要从原有的模型集合中去除一个单模型,同时加入一个新的单模型。

c) 更新完成后,用式(14)对高斯混合模型中各个单模型的权值进行归一化处理。

$$w_{i,t} = w_{i,t} / \sum_j w_{j,t} \quad (14)$$

4) 背景像素模型的建立

通过高斯混合模型参数学习机制,用权重较大而方差较小的单高斯模型来描述出现频率较高的背景像素,使用相对值 $w_{i,t} / \sigma_{i,t}$ 作为评判标准来判断各高斯分布的优先级。 $w_{i,t} / \sigma_{i,t}$ 大表示像素有较小的方差(像素波动不大)与较高的出现频率($w_{i,t}$ 较大),符合场景背景像素的特征,因为像素点显示背景状态的概率通常要比显示任一运动前景状态的概率大得多。从 M 个高斯分布中选出 N 个高斯分布作为背景模型:

$$B = \arg \min_N (\sum_{k=1}^N w_{i,k} > T) \quad (15)$$

其中, T 表示估计背景的最小测度,通过 T 的设定可以选出描述背景的最佳分布。当 T 取值合适时,由于有多个单高斯分布作为背景模型,因此可以处理双峰或多峰的背景,并且使背景具有自适应更新能力,可以随着环境变化进行自动更新。找出的 N 个高斯分布将作为下一帧图像中可供选择的背景像素值。

2 场面运动目标检测

2.1 门限值的确定

由于图像中的像素点和背景中的像素点都可以使用高斯模型近似,因此得到的差值图像(即前景图像)也可以使用高斯模型,且其中背景点位置对应的灰度值大部分应该位于均值附近的小区间内。如果可以事先估计出前景点在整个图像中所占的百分比,那么可以通过正态函数分布表查得这个区间的大小(由方差决定)。我们不能够准确地估计出前景点占整个图像的百分比,但可以使用粗略的估计方法,得到此百分比可能的最大值和最小值。以这两个值为基础,计算出两个区域,从而得到二值化的阈值,实现双门限二值化。于是我们可以认为高门限二值化图像中对应的所有前景点都是真实的

前景点,但是没有完全地包含整个目标;而低门限中的前景点包含了整个目标,但是也包含了很多的伪目标。于是以高门限二值图像中的前景点为基础,在低门限二值图像中实现最终的目标检测。

通过上面两步后,只是检测出了某一帧的目标。这些目标中当然也会包含少量的伪目标。为了去除这些伪目标,利用真实目标应该在连续帧中稳定出现的事实,使用了时间滤波的方法。确立一个目标连续出现的阈值 T_N (实验中采用 30),如果目标在连续帧中稳定出现的次数大于 T_N ,则认为此目标为检测到的运动目标。

2.2 算法设计

根据以上描述,推导并总结出本文提出的自适应双门限场面运动目标检测方法的具体步骤。

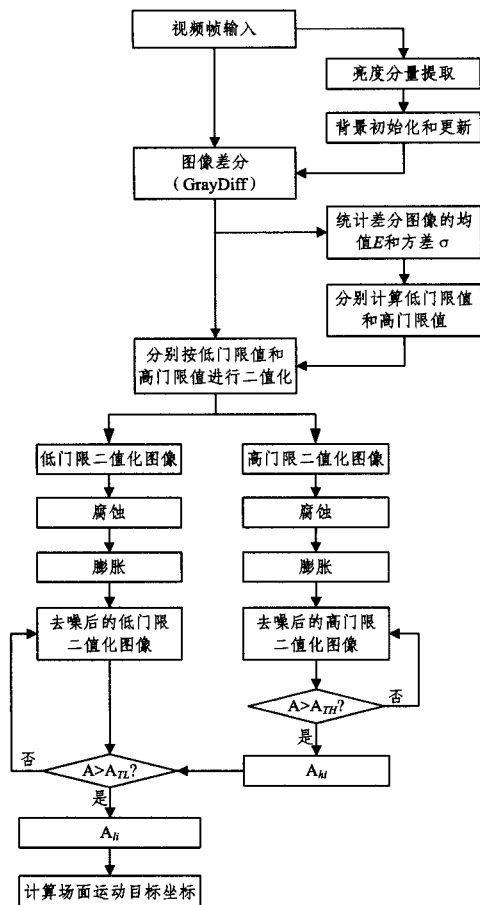


图1 自适应的双门限场面运动目标检测流程

1)提取视频帧亮度分量,并对亮度分量进行背景初始化和更新;

2)提取当前帧的亮度分量并与提取出的背景进行差分,得到的灰度差分图像记为 GrayDiff;

3)统计灰度差分图像 GrayDiff 的均值 E 和标准方差 σ ;

4)根据第 3)步的计算结果,分别设定低门限和高门限值为:

$$T_L = E + 4\sigma \quad (16)$$

$$T_H = E + 10\sigma \quad (17)$$

5)将灰度差分图像 GrayDiff 分别按低门限和高门限进行二值化得到运动目标的粗分割结果;

6)对二值化后的图像进行腐蚀及膨胀操作去除噪声;

7)统计高门限二值化图像中像素面积 A 大于 A_{TH} 的所

有区域,并记为 A_{Hi} ;

8)统计高门限二值化图像中每个 A_{Hi} 对应的低门限二值化图像区域中像素面积 A 大于 A_{TL} 的所有区域,并记为 A_{Li} ;

9)统计视频序列中同一目标连续出现的次数 n ,并将其与阈值 T_N 进行比较,如果 $n \geq T_N$,则将此目标标定为前景目标。

根据上述方法的具体步骤,给出本文方法的流程图,如图 1 所示。

3 实验仿真与分析

本实验的硬件平台为 Intel Xeon 2.66G(x2),内存 2G, Nvidia Tesla C2050 显卡,软件环境为 Windows XP、Visual Studio 2008、Nvidia Visual Profile。测试分别用 1 小时 30 分钟的晴天和雾霾场景下的机场原始高清视频,分辨率为 $1280 \times 720@20\text{Hz}$ 。

为了验证本文方法的有效性,实验针对不同光照条件下的机场场面运动目标对本文方法的效果测试以及与传统 GMM 方法和文献[4]方法检测进行对比,并引入了文献[5]中提出的查全率 R 、查准率 P 以及 F 量 3 个指标对本文方法、传统 GMM 方法和文献[4]方法检测的结果进行定量分析。其表达式为:

$$R = \frac{t_p}{t_p + f_n}, P = \frac{t_p}{t_p + f_p}, F = \frac{2 \times P \times R}{P + R} \quad (18)$$

式中, t_p 表示检测目标正确像素个数, f_p 表示将背景错误检测为目标的像素个数, f_n 表示将运动目标错误检测为背景的像素个数。查全率 R 反映的是漏警率,值越大,漏警率越低;查准率 P 反映的是虚警率,值越大,虚警率越低; F 量反映的是方法的综合性能。

3.1 运动目标检测的效果测试

首先,在晴天场景下对本文方法的检测效果进行测试,设置 $T_N = 30$ 。图 2(b)、(c)、(d)分别是图 2(a)中所测试视频流在第 33 帧提取出的背景图像、高门限二值化图像及低门限二值化图像。通过对比图 2(c)和图 2(d)可以看出,本文方法能够准确圈定目标,如图 2(e)所示。虽然此时准确地圈定了目标,但是两个目标在连续帧中出现的次数还没有达到 30,不能够确定其最终的目标。当第 39 帧时,两个目标在连续帧上出现的次数达到 30,则确定它们是真实目标。对比图 2(f)和图 2(g)给出了最终圈定的目标结果。应注意,由于此时背景的学习帧数为三十几帧,提取出的背景也能够准确地圈定慢动的右边目标,因此本文方法具有良好的噪声抑制能力和对慢目标良好的鲁棒性。测试证明,当学习帧数在 200 帧以上时,能够得到干净背景。这个实验在一定程度上说明,该方法即使在背景提取不是很理想的情况下,也能够得到很好的结果。

然后,实验在机场雾霾场景中对本文方法的检测效果进行测试,如图 3 所示。设置 $T_N = 30$ 。图 3(a)是采用混合高斯模型对第 203 帧到 219 帧机场监视视频序列图像进行背景提取的结果。可以看出,采用高斯混合背景模型对机场场面这类特定的应用进行背景提取,可以取得较理想的效果。图 3(b)和(c)分别是第 219 帧视频图像及检测到的目标,并且图中慢动的左运动目标也能够准确地被圈定出来。



图2 天气条件较好时运动目标的检测效果图

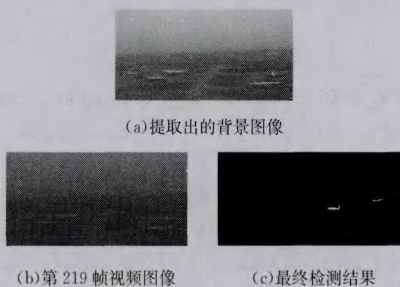


图3 雾霾天气下运动目标的检测效果图

最后,针对以上两种视频序列连续图像,对本文方法、传统的 GMM 方法和文献[4]中方法的运动目标进行了测试,结果如图 4 所示。设置 $T_N=30$ 。

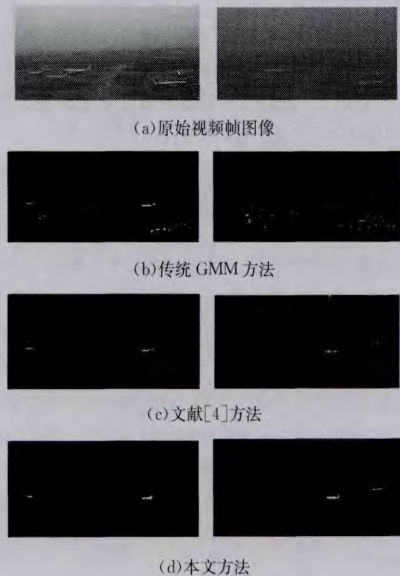


图4 不同场景下检测结果的对比

对以上视频序列的背景中出现的慢动目标、光线变化和停止飞机的干扰情况进行了方法的对比。可以看出,与传统 GMM 方法和文献[4]方法相比,本文方法检测的结果噪声小,运动目标更加完整。传统 GMM 方法检测噪声较大,对慢

动、光线较差的目标不能及时反应;文献[4]方法采用固定门限值差分图像,容易受到复杂场景及光照变化、目标与背景颜色接近的影响,不能完整检测目标;本文方法采用两个门限值对差分图像进行前景目标分割,最终能够消除场景中噪声的干扰且对慢动目标具有较好的鲁棒性。

3.2 性能对比

首先,从原始晴天场景下的视频序列中分割出 165 幅包含目标区域的图像作为对比基准,利用式(18)分别计算序列每帧的 3 个性能指标,并绘制相应的曲线图进行比较,结果如图 5 所示。

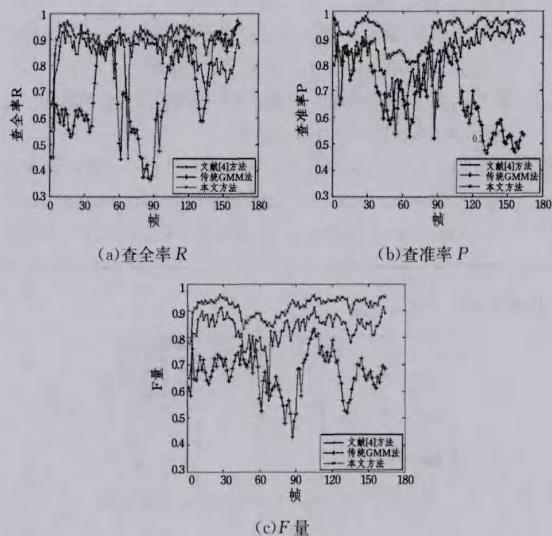


图5 3种方法检测的性能指标曲线图

从图 5 可以看出,本文方法的查全率 R 略高于文献[4]方法,明显高于传统 GMM 方法;查准率 P 高于文献[4]和传统 GMM 方法;最终测得的综合性能 F 量也明显高于文献[4]和传统 GMM 方法。

最后,实验采用了 Intel VTune 对 3 种方法在原始两种视频序列上的计算时间进行了测试。通过对每种视频序列进行 10 次测试取平均值的方法得到该方法的处理时间。表 1 列出了两种视频序列中 3 种方法实现目标检测的平均耗时。从表 1 可以看出,本文方法的平均处理时间明显比传统 GMM 方法短,比文献[4]方法的略长。相比文献[4]方法,采用自适应的双门限分割图像方法虽然平均处理时间略有增加,但换来了更好的检测效果。

表1 3种方法平均处理时间的对比(帧/s)

视频序列(分辨率)	传统 GMM 方法	文献[4]方法	本文方法
晴天(1280×720)	2.612	0.462	0.569
雾霾(1280×720)	3.383	0.685	0.793

结束语 针对机机场面监视中天气对光线影响较明显的情况,提出了一种自适应的双门限场面运动目标检测方法。在摄像机静止且在检测过程中有慢目标出现的情况下,首先采用混合高斯背景模型的方法进行背景提取,取得了较理想的效果;在目标检测阶段,使用两个门限值对差分图像进行前景目标分割,低门限阈值用于粗分割以检测出较明显的运动目标,在粗分割的基础上再用高门限阈值进行细分割以去除噪声目标和伪目标,最终达到场面运动目标的精确检测。实验结果表明,本文方法能够满足机机场场景中复杂天气情况下

的应用需求并具有良好的鲁棒性,基本达到了系统的性能需求。

在后续的研究中,将在深入分析具体应用场景的基础上,进一步提升目标检测方法的高效性和实用性,并把遮挡下的监控、去除阴影以及目标跟踪等作为下一步研究的重点。

参考文献

- [1] 胥欣,江登表,李勃,等.混合高斯模型运动检测算法优化[J].计算机应用研究,2013,30(7):2190-2194
- [2] 林庆,徐柱,王士同,等. HSV 自适应混合高斯模型的运动目标检测[J]. 计算机科学,2013,37(10):254-256
- [3] 张帆,彭中伟,蒙水金.基于自适应阈值的改进 Canny 边缘检测方法[J]. 计算机应用,2012,32(8):2296-2298
- [4] 康晓兵,魏生民.一种基于自适应阈值的图像伪造检测算法[J]. 计算机科学,2011,38(3):295-298
- [5] Song Xue-hua, Chen Jing-zhu, Chong He, et al. A robust moving objects detection based on improved Gaussian mixture model [J]. International Conference on Artificial Intelligence and Com-

putational Intelligence, 2010, 2(6):54-58

- [6] Gorur P, Amrutur B. Speed up Gaussian mixture model algorithm for background subtraction [C] // IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-based Surveillance, 2011:386-391
- [7] Maddalena L, Petrosino A. A self-organizing approach to background subtraction for visual surveillance applications [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(7):1168-1177
- [8] 王正宁,刘昌忠,王娟,等.一种双门限场面运动目标检测系统 [P]. 中国:201120089757. 2011-11-16
- [9] Xie Jin-quan, Chen Jin. An adaptive double-threshold spectrum sensing algorithm under noise uncertainty [J]. IEEE International Conference on Computer and Information Technology, 2012, 35(9):824-827
- [10] 高振华,黄山,张洪斌,等.基于自适应背景匹配的运动目标检测算法 [J]. 计算机工程与设计,2013,34(8):2839-2843
- [11] 高美凤,刘焯.分块帧差和背景差相融合的运动目标检测 [J]. 计算机应用研究,2013,30(1):299-302

(上接第 311 页)

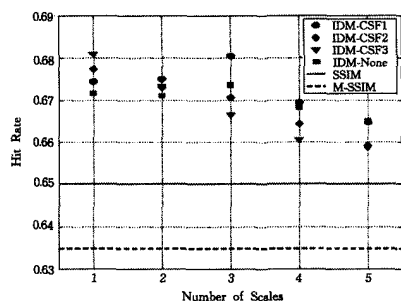


图 6 不同尺度数量之间的关系以及在色域映射数据上的命中率

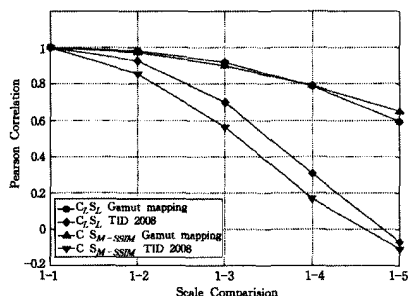


图 7 第一层的 IDF 与第 2—5 层的 IDF 的 Pearson 相关参数

结束语 本文提出了一种图像差分的新结构。这种方法将图像归一化到关于图像外观模型的特定视觉条件下;在一定的假设条件下提取图像的 IDF;然后将这些 IDF 组合起来进行整幅图像的差分预测。在本文中我们特别强调了色彩失真的作用,特别是对色域映射失真数据的影响。这种基于色彩的图像差分特征测量方法充分利用了图像的色彩信息,因此能够极大地提高彩色图像差分预测的性能,比如提高色域映射数据的预测性能。实验结果表明,通过将输入图像归一化到特定的视角距离能够有效地提高预测性能;同时我们还对色域映射造成的亮度失真进行了多尺度分析,结果表明,由不同尺度提取的基于亮度的图像差分特征比一般的失真具有更高的尺度间相关性,因此采用更优的多尺度方法能够进一步提高预测的准确性。

参考文献

- [1] Wang Z, Li Q. Information content weighting for perceptual image quality assessment [J]. IEEE Trans. Image Process., 2011, 20(5):1185-1198
- [2] 高健,饶琨,孙瑞鹏.基于 3-参数变长编码的图像无损压缩算法 [J]. 自动化学报,2013,39(8):1289-1294
- [3] Preiss J, Lissner I, Urban P, et al. The impact of image-difference features on perceived image differences [C] // Proc. 6th Eur. Conf. Color Graph. Imag. Vis. Amsterdam, The Netherlands, 2012:43-48
- [4] Zolliker P, Barańczuk Z, Giesen J. Image fusion for optimizing gamut mapping [C] // Proc. 19th Color Imag. Conf. San Jose, CA, 2011:109-114
- [5] 杨唐文,王敏杰,秦勇.融合图像边缘和区域特征的道路检测算法 [J]. 东南大学学报:自然科学版,2013,43(A01):81-84
- [6] 周鲜成,申群太,王俊年.一种新的图像对比度自适应变换方法 [J]. 科学技术与工程,2007(21):170-174
- [7] Lissner I, Urban P. Toward a unified color space for perception-based image processing [J]. IEEE Trans. Image Process, 2012, 21(3):1153-1168
- [8] 张威,戴明,尹传历,等.超光谱图像的二阶差分预测压缩算法 [J]. 计算机科学,2010,37(5):240-242
- [9] Kuehni R G. Color Space and Its Divisions (1st ed) [R]. Hoboken, NJ: Wiley, 2003
- [10] Ponomarenko N, Lukin V, Zelensky A, et al. TID2008—A database for evaluation of full-reference visual quality assessment metrics [J]. Adv. Modern Radioelectron, 2009, 10:30-45
- [11] Dugay F, Farup I, Hardeberg J Y. Perceptual evaluation of color gamut mapping algorithms [J]. Color Res. Appl., 2008, 33(6):470-476
- [12] 郭晏,宋爱国,包加桐,等.基于差分进化支持向量机的移动机器人可通度预测 [J]. 机器人,2011,33(3):257-264
- [13] 许四祥,孙杰,郭宏晨.基于改进背景预测和流水线的弱小目标检测 [J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2012,40(8):129-132
- [14] 孙军,黎琪,李和睿.基于集合映射的彩色图像边缘检测 [J]. 四川兵工学报,2012,33(10):86-87