

基于图像差分特征的彩色图像差分预测与信息提取算法研究

杨 单

(华中科技大学计算机学院 武汉 430074) (中南民族大学管理学院 武汉 430074)

摘 要 图像特征提取预测技术一直是图像处理领域研究的热点与难点。提出了一种包含图像归一化特征融合的图像差分预测算法。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,将色彩信息全部转换到一个色彩空间中,然后将图像归一化到特定的视角距离范围内来提取出图像差分特征(IDF)信息。最后做了大量的仿真实验,结果表明,提出的方法可以极大地提高彩色图像差分预测性能;同时对图像的色域映射所造成的亮度失真进行的多尺度分析结果表明,以不同尺度提取的基于亮度的图像差分特征比一般的图像失真具有更高的尺度间相关性。

关键词 图像差分预测,特征融合,色域映射,特征提取,图像归一化

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.1.068

Color Image Difference Prediction Based on Image Difference Measure

YANG Dan

(School of Computer, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

(School of Management, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

Abstract The feature extraction of image prediction technology is a hot and difficult problem in the image processing field. This paper proposed a image difference prediction algorithm containing the fusion image normalization characteristic. Color difference measurement method based on image feature makes full use of the color information of image, and the color information is converted to a color space. And then the image is normalized to a range of specific perspective to extract the image difference feature (IDF) information. Finally, this paper did a lot of experiments, and the experimental results show that the proposed method greatly improves difference prediction performance of color image. At the same time, we preformed the multi-scale analysis for brightness distortion caused by gamut mapping. The results show that the image differential feature based on brightness extracted from different scale images has higher correlation between scale than the general image distortion.

Keywords Image difference prediction, Feature fusion, Gamut mapping, Feature extraction, Image normalization

1 引言

图像特征提取预测技术一直是图像处理领域研究的热点与难点问题,该技术通常是直接应用于图像增强、图像复原等研究领域。图像差分预测方法可以针对整幅图像也可以针对局部图像。目前已有很多学者对基于差分预测图像处理方法进行了研究。文献[1]研究了基于 SSIM 索引的图像差分预测方法,这种方法能够达到很高的预测准确率,但是只能处理灰度图像数据,因此没有包含色彩信息。尽管如此,采用这种方法进行图像差分预测仍然存在如下的问题:不能检测图像语义的变化。比如,如果一个特定的变化影响到了人的脸部图像,则图像的质量就会受到很大的影响;但是如果在图像的背景区域发生相同的变化,可能就根本不会被发现。其次,图像颜色成分的变化可能不会影响到亮度成分,这种情况经常发生在色域映射中^[2]。文献[3]研究了将差分预测算法应用在灰度图像上,但是由于人脸的图像全局性,该方法受到了影

响,图像质量得不到有效的提高。文献[4-7]都是在基本的差分预测方法的基础上给出了一定的改进,但是大多应用在基于灰度图像上。尽管很多学者已经研究了基于 SSIM 索引的扩展方法在彩色图像中的应用^[8-10],但是仍然有很多改进的地方。

本文在以上文献的基础上,提出了一种包含图像归一化、特征提取、特征融合的图像差分预测方法。这种方法在每一步选择特定的应用中构建了图像差分测量方法,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,实验结果表明,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。

到稿日期:2014-02-24 返修日期:2014-05-10 本文受湖北省教育厅科学技术研究一般项目(QZY11009),中南民族大学校基金资助项目(YZQ10001)资助。

杨 单(1979-),男,博士生,讲师,主要研究方向为信息管理与图像处理等。

2 图像差分结构

本文提出的图像差分结构包含了图像的归一化过程,并将其转换到一个色彩空间中。然后采用由图像提取的所谓的图像差分特征(IDF)来进行图像差分预测。

(1) 图像归一化

视觉系统对图像的感知依赖于视觉条件,比如视觉距离、光照条件等。因此,在提取图像信息之前应当将图像归一化到一定的视觉条件下。在文中我们采用了图像外观模型来进行图像归一化^[11]。图1所示为图像归一化:如果视觉条件变化,低于门限的失真可能会转化为高于门限的失真。



图1 视觉条件对视觉系统感知结果的影响

图像外观模型还处在发展阶段。比如,对比敏感度机制通常被建模为强度线性相对色彩空间中的卷积。不同的滤波器被应用到频域中的彩色和非彩色通道。这涉及到了几种简化过程,因为敏感度机制是具有方向性的、年龄性的,并且受到光照条件的影响等^[12]。图像外观模型的其它分量同样受到这些条件的限制。本文验证了采用简单的图像外观模型是否会提高图像差分预测的性能。

(2) 色彩空间的转换

在归一化的最后阶段,需要将所有图像转换到相同的色彩空间。这个色彩空间需要提供对色彩造成影响的所有因素的信息:亮度、色度、色彩等。其中一个最重要的特性是感性一致性,也就是说色彩空间的 Euclidean 距离应当与所感知的色彩差异匹配。这需要对图像的特征,比如边缘和梯度,能够准确地表示。在 RGB 色彩空间,这些特征可能会被过分估计或者低估,也就是计算的幅度超过感知的幅度或者低于感知的幅度^[13]。

(3) 信息提取

接下来需要从归一化后的图像中提取图像差分特征(IDF)。这些特征是对视觉处理过程假设的数学表达式。这些特征通过一个联合模型统一进行图像差分的预测。这些参数通过图像差分数据来优化。

3 图像差分特征提取

图像差分特征是定义为式(1)的一种变换:

$$IDF: I_{M,N} \times I_{M,N} \times P \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

其中, $I_{M,N}$ 表示行和列分别为 M, N 的 RGB 彩色图像, P 为参数矩阵,其中每一个参数都是对所采用的图像外观模型进行参数化。根据所选择的模型的不同, P 可能包含了视觉距离、光照等级、观察者的适应性等参数。

根据本文所采用的结构, IDF 可以表示为将图像进行归一化到特定观察条件的变换 N 和表示实际特征提取的变换 F 的级联:

$$IDF = F \circ N \quad (2)$$

其中

$$N: IDF: I_{M,N} \times I_{M,N} \times P \rightarrow W_{M,N} \times W_{M,N} \quad (3)$$

$$F: W_{M,N} \times W_{M,N} \rightarrow [0,1] \quad (4)$$

其中, $W_{M,N}$ 表示在特定色彩空间中的图像集。

特征提取变换 F 可以通过各种不同的方法来实现。本文中采用的特征提取变换都是基于一个特定的图像比较变换:

$$t: W_{k,k} \times W_{k,k} \rightarrow [0,1] \quad (5)$$

特征提取变换 F 通过局部差分的平均得到:

$$F(X_{norm}, X_{norm}) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K t(x_i, y_i) \quad (6)$$

其中, K 为在归一化图像中所考虑的窗的数量, $X_{norm}, X_{norm} \in W_{M,N}$, x_i, y_i 是由第 i 个窗口定义的像素矩阵。尽管我们只计算了局部差分的平均值,但是采用更复杂的方法对性能的提高非常有限。

尺度 IDF 包含了提取一个图像的特定尺度的变换:

$$S: W_{M,N} \times W_{M,N} \rightarrow W_{\hat{M}, \hat{N}} \times W_{\hat{M}, \hat{N}} \quad (7)$$

其中, $\hat{M} \leq M, \hat{N} \leq N$ 。在该尺度上 IDF 定义为:

$$IDF = F \circ S \circ N \quad (8)$$

3.1 图像比较变换

为了保证预测的准确性,采用已有的描述图像差分特征的方法。根据我们的结构来调整这些参数,并且将其扩展到色彩失真的预测中。所有参数都在基于 SSIM 索引的方法中使用,因为这些参数是被广泛使用的,且具有很高的预测准确性。除此之外,这种模块结构——3 个比较参数独立评估后再相乘,非常适合本文提出的图像差分预测结构。

每一个模块都在所比较图像 X, Y 的滑动窗口中计算得到。 x, y 分别表示这些滑动窗口中的像素矩阵。在本文采用的特定色彩空间中,每一个像素 x 包含了亮度和两个色彩参数: $x = (L_x, a_x, b_x)$, 像素的色彩参数定义为 $C_x = \sqrt{a_x^2 + b_x^2}$ 。

1) 亮度、色度、色彩比较

$$l_l(x, y) = \frac{1}{c_1 \cdot \Delta L(x, y)^2 + 1} \quad (9)$$

$$l_c(x, y) = \frac{1}{c_4 \cdot \Delta C(x, y)^2 + 1} \quad (10)$$

$$l_H(x, y) = \frac{1}{c_5 \cdot \Delta H(x, y)^2 + 1} \quad (11)$$

其中, $f(x, y)$ 表示窗内每一个像素对 (x, y) 的高斯加权均值。

式(9)~式(11)所用到的像素变换定义为:

$$\Delta L(x, y) = L_x - L_y \quad (12)$$

$$\Delta C(x, y) = C_x - C_y \quad (13)$$

$$\Delta H(x, y) = \sqrt{(a_x - a_y)^2 + (b_x - b_y)^2 - \Delta C(x, y)^2} \quad (14)$$

这些参数都是在 HVS 对亮度、色度、色彩差异敏感的基础上得到的。这种结构由 SSIM 索引的亮度函数得到,并且是为强度线性空间设计的。本文将应用到我们的感知一致性空间中。

我们选择 $\Delta L, \Delta C, \Delta H$ 的标准是对感知一致性色彩空间

中类似的感知差异能够返回相似的值。值得注意的是,对于色域映射图像,这些参数只能应用在较小的色彩差异中,相对于原图像的色彩差别通常是很大的。对很大的色彩差异的调整可以通过参数 c_1 来实现。

2) 亮度对比比较

$$c_L(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2} \quad (15)$$

其中, σ_x, σ_y 为亮度分量在滑动窗口中的标准差。这个参数反映了视觉系统对色彩对比差异的敏感性。这个特性的影响可以通过调整参数 c_2 来实现。图 2 示出对比度差异的影响,从图中可以看出,对比度区域的对比度偏差对结果的影响很明显,如图中的右边小鸟区域。

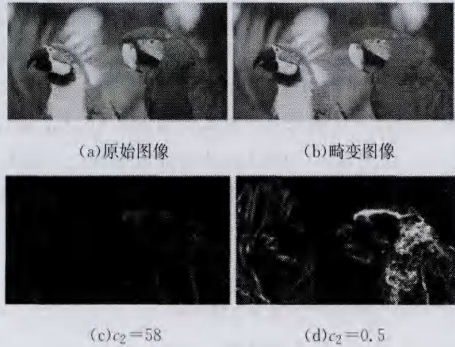


图 2 采用不同参数 c_2 的亮度对比比较

3) 亮度结构对比

$$s_L(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x\sigma_y + c_3} \quad (16)$$

其中, σ_{xy} 表示 $x - \bar{x}, y - \bar{y}$ 的夹角的余弦。这个分量包含了 HVS 对非色彩结构差异的敏感性的假设。

计算式(9)一式(11)、式(15)、式(16)得到 5 个不同的映射(见图 4)。

3.2 图像差分特征

每一个比较分量都被包含到式(2)和式(6)所示的独立 IDF 中。为了区分每一个分量和 IDF,我们采用 L, C, S 表示基于 l, c, s 分量的 IDF。

视觉系统对亮度分量高频分量的失真比对色彩分量的高频失真更为敏感。因此,我们采用了式(9)、式(15)、式(16)所示的 l_L, c_L, s_L 分量得到了 3 个基于亮度的 IDF。

亮度对比和亮度结构 IDF 是在多个尺度上计算得到的,因为视觉系统会对不同尺度的对比度和结构的差异发生反应。在第一个尺度,我们采用了没有做任何变换的原图像。然后将其进行低通滤波以及两倍下采样后作为下一个尺度的输入。

3.3 图像差分测量

在本文图像差分预测结构中,图像差分测量(IDM)是将几个 IDF 联合起来进行图像差分预测的变换。IDM 具有与式(1)所示的 IDF 相同的结构。所有联合在一个 IDM 中的 IDF 具有相同的归一化变化。

我们采用了下面的联合模型:

$$IDM = 1 - (L_L^n) \prod_{i=1}^n (C_L S_L)^{a_i} L_C L_H \quad (17)$$

其中, n 为多尺度模型采用的尺度数量, L_L^n 为第 n 个尺度的亮度比较 IDF, C_L, S_L 为第 i 个尺度的亮度对比和亮度结构

IDF, a_i 为该尺度的加权值。

式(17)所示的多尺度模型和参数 a_i 可以采用文献[2]中的参数。 a_i 为每一尺度对整个图像差分预测的贡献的加权值。所有尺度的加权值的和为 1。这个模型可以经过调整后用于色彩空间和具有参数为 c_1 的独立 IDF 的训练数据。

4 仿真实验

本节通过实验来验证本文方法的有效性。本文采用的实验数据为两类包含不同失真类型的图像差分数据库:文献[10]中的 Tampere 图像数据库和文献[11]中的色域映射图像数据库。第一个数据库包含的图像失真主要为噪声、模糊失真以及有损压缩失真等;第二个数据库中的失真还包含了色彩失真等。

通常采用的图像差分测量性能指标为认为判断和相应预测的相关性,采用的参数包括 Spearman 相关参数等。认为判断通常表示为平均选择分数(MOS)。但是采用这类指标还是存在一定的问题,比如在将原始的像素对比实验转换为 MOS 的过程中,必须假定一个选择分布模型;在 MOS 中,包含观测者之间以及观测者个人的不确定性因素的确定是非常困难的;根据图像场景的不同,即使图像与参考图像的差异很大,也有可能被赋予相同的分数,因此 MOS 不能反映色彩的差异。

由于这些原因,我们采用命中率来表示 IDM 的预测性能。命中率 p 定义为:

$$p = \frac{i}{m} \quad (18)$$

其中, m 表示在实验中所有可能的选择, i 表示正确预测的选择的数量。如果 IDM 计算的观察者选择图像的分数较好,则认为这个选择被正确预测。由于我们是对原始的视觉数据进行操作,因此没有必要对选择的分布做任何的假设。如果 IDM 返回一个完全随机的预测,则期望的命中率为 0.5。这表明最低的预测准确性。需要注意的是,如果图形对完全对上,则 IDM 的命中率与相应的 MOS 的 Kendall 相关系数线性相关。

将命中率与最大可达到的命中率相比较是非常有意思的,最大命中率我们用 p_m 表示。通常不同观测者对同一图形的选择会不同。如果预测结果与所有图形对的最大选择一致,则认为 IDM 达到了最大命中率。我们定义可能达到的命中率的范围为 $[0.5, p_m]$, 0.5 为随机预测的命中率。 p/p_m 的比值可以用来比较不同数据的 IDM 预测。除此之外,其不会受到不同观测者或者观测者自身的不确定性的影响。

为了确定两个 IDM 的命中率是否有明显的差别,我们假设观测者选择的 IDM 的预测可以表示为二项分布,相应的成功预测概率分别为 p_1, p_2 。用 m 表示总的选择, i_1, i_2 分别表示第一个和第二个 IDM 正确预测的选择。两个样本的参数 $\alpha = 0.05$, 置信区间 $p_1 - p_2$ 可以表示为:

$$I = [p_1 - p_2 - \psi; p_1 - p_2 + \psi] \quad (19)$$

$$\psi = z_{\alpha/2} \sqrt{(2/m) \bar{p} \bar{q}}$$

其中, $p_1 = i_1/m, p_2 = i_2/m, \bar{p} = (i_1 + i_2)/(2m), \bar{q} = 1 - \bar{p}, z_{\alpha/2}$ 为标准正态分布的 $\alpha/2$ 分位数。如果 $0 \in I$, 则认为命中率具有明显的不同。

本文选择 LAB2000HL 空间作为我们的色彩空间,因为

这种空间满足第2节中描述的本文图像差分预测的色彩空间要求。一些重要的视觉条件参数是无法得到的,比如光照等级。因此,我们的归一化步骤只局限于对输入图像的对比度敏感性滤波。然而,由于采用的色彩空间是为相关的视觉条件设计的,归一化到平均的视觉距离可能是最重要的需要调整的参数。

在本文实验中,引入了两个现有的对比度敏感性函数(CSF):文献[12]提出的在ICAM结构下评估图像差异的色彩和非色彩CSF以及文献[13]提出的应用于强度色彩空间的S-CIELAB模型中的CSF函数。这两个模型对色彩通道和非色彩通道都采用不同的滤波器。为了根据视觉距离调整CSF,我们假设空间频率为20次/度,对应的视觉距离为75cm。同时我们还构造了一个没有CSF滤波器的IDM,表示为IDM-None。

我们采用部分色域映射数据来训练参数 c_1, \dots, c_5 ,选择了大约50%的参考图像,并将其组合在一起作为训练数据。这个数据库包含了162幅参考图像以及1320幅失真图像和14329个观测者选择。通过在训练数据上使命中率最大化来优化IDM的参数。

剩下的数据作为测试数据。由这些数据,本文得到了如下的结果:最大命中率 $p_m=0.801$ 。命中率差异大于0.01表示在95%置信水平下的重大差异。

对于每一个IDM,参数变化到一定的程度时,相应的命中率就不会有明显的变化。因此,本文期望设置统一的参数。采用这组参数来代替最优的参数并不会明显影响命中率。但是需要注意的是,下面的结果都是基于最优参数得到的。

参数 c_2, c_3 不能和 c_1, c_4, c_5 比较,因为这些参数被用在不同的IDF中。然而,由于 $c_2=c_3$,亮度对比和结构差异的加权是相同的。参数 c_5 明显比 c_1, c_4 大,表明色彩的差异对预测结果的影响明显大于亮度和色度的差异。

本文测试的IDM结构如图3所示。采用IDM-CSF3计算的对于相同的测试图像对的差异映射如图4所示。

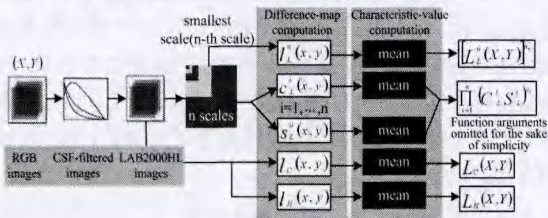


图3 本文采用的IDM结构

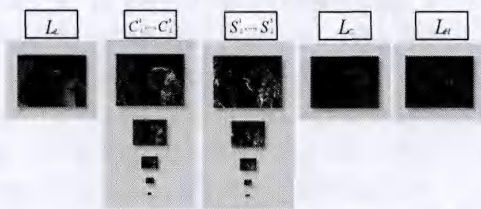


图4 采用IDM-CSF3计算的图3中图像的所有差异映射

5 预测性能分析

本文实验的主要目的是确定每一个IDF对命中率的影响。我们同样需要关注不同的对比度敏感模型和多尺度方法对结果的影响。本文采用SSIM索引方法作为本文方法性能

的一个参照。

首先测试本文的IDF对预测结果的影响。图5示出所有单个尺度IDF的组合的命中率。所有使用相同对比度敏感模型的IDF组合采用相同的参数 c_i 。这些参数通过训练数据进行了最优化。SSIM方法在测试数据的命中率被标注为图5中纵坐标0.64~0.65区间内的横线。为了保证比较的公平,参数 c_i 也通过训练数据进行了最优化。然而,SSIM方法采用默认值所得到的结果也基本相同。图5的结果表明:1)大多数采用CSF滤波的IDM的命中率没有太大差别。基于这种结果,我们不能确定采用何种对比度敏感模型能够达到最优的结果。如果在实验中我们不考虑视觉距离,则在大多数情况下所得到的预测结果会变差。2)3个基于亮度的IDF的组合所得到的结果优于SSIM方法,但是提高得不是很明显。3)亮度对比IDF是最重要的IDF。在所有的测试中,加入亮度对比IDF都能够极大地提高预测结果。4)在亮度IDF中加入一个或者两个色度IDF所得到的结果明显优于SSIM方法。与SSIM方法相比,其所得到的命中率提高了10%左右。5)预测结果仍然有很大的提升空间。最好的IDM命中率仅为0.681,与最优命中率0.801还有较大的差距。

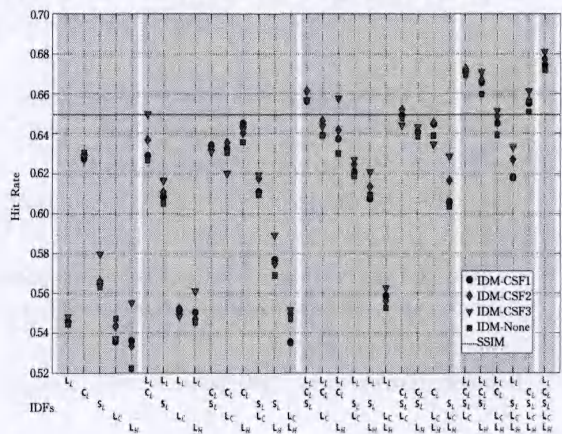


图5 在色域映射数据中所有可能的IDF组合的命中率结果

接下来分析多尺度方法对预测结果的影响。图6示出多尺度IDM对命中率的影响结果。所有的数据都是在色域映射测试数据上得到的结果。为了便于比较,我们对比了SSIM方法和多尺度SSIM方法的结果。与对传统图像失真的预测结果不一样,采用M-SSIM方法对色域失真的预测结果明显低于采用单尺度方法的结果。这种情况同样发生在采用本文方法的预测结果中。如果只采用3个尺度,预测结果没有太大的变化,但是如果采用更多的尺度,预测性能就会明显降低。为了研究这种不一致对结果的影响,我们通过原始参数插值的方法调整参数 a_i 来得到与色域映射条件匹配的参数。这样视觉距离的微小差别就不会对命中率造成极大的影响。为了研究基于亮度IDF对预测结果的影响,我们计算从第一层提取的IDF与更高层的IDF的Pearson相关参数,如图7所示。对于色域映射数据来说,不同层的相关性非常强。这表明从第2~5层提取的图像差异数据与从第一层提取的数据非常相似。相反,对于TID2008,不同层之间的相关性很弱。这种结果同样适用于相应的M-SSIM方法。这表明色域映射失真中的亮度成分与传统失真存在很大的差别。

(下转第316页)

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)

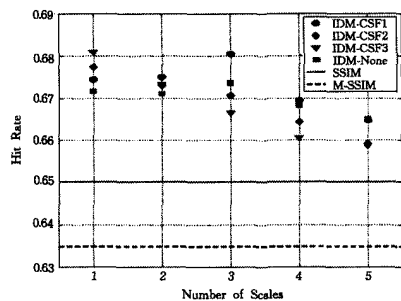


图 6 不同尺度数量之间的关系以及在色域映射数据上的命中率

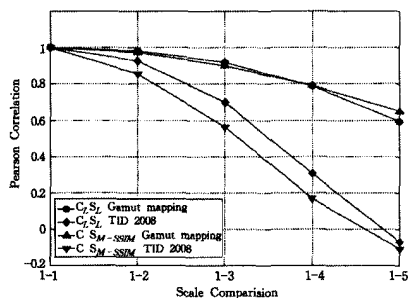


图 7 第一层的 IDF 与第 2-5 层的 IDF 的 Pearson 相关参数

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,饶珺,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, Bara'nczuk 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过度预测 [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