

皮肤镜图像散焦模糊与光照不均混叠时的无参考质量评价

卢亚楠¹ 谢凤英¹ 周世新² 姜志国¹ 孟如松³

摘要 皮肤镜图像的采集质量直接影响后续的分析诊断结果. 针对皮肤镜图像在采集过程中可能出现的散焦模糊和光照不均两种类型的失真, 提出了一种有效的无参考图像质量评价算法. 通过频率特性分析我们发现, 散焦模糊主要影响离散余弦变换 (Discrete cosine transform, DCT) 后的直流分量, 而光照不均则主要影响第一交流分量. 针对该特性, 论文在频率域设计质量评价模型, 首先将散焦模糊与光照不均两种失真成功分离, 进而分别计算失真程度, 给出评价指标. 实验结果表明, 本文提出的算法既可以对散焦模糊或光照不均单一失真类型的皮肤镜图像进行质量评价, 也可以对两种失真类型同时存在的复杂皮肤镜图像进行评价, 给出的评价结果稳定客观、互相独立, 且与主观评价结果相一致.

关键词 皮肤镜图像, 图像质量评价, 散焦模糊, 光照不均, 离散余弦变换

引用格式 卢亚楠, 谢凤英, 周世新, 姜志国, 孟如松. 皮肤镜图像散焦模糊与光照不均混叠时的无参考质量评价. 自动化学报, 2014, 40(3): 480–488

DOI 10.3724/SP.J.1004.2014.00480

Non-reference Quality Assessment of Dermoscopy Images with Defocus Blur and Uneven Illumination Distortion

LU Ya-Nan¹ XIE Feng-Ying¹ ZHOU Shi-Xin² JIANG Zhi-Guo¹ MENG Ru-Song³

Abstract The quality of dermoscopy images will impact the subsequent segmentation and analysis results. An efficient non-reference image quality assessment algorithm is proposed when defocus blur exists in an image with uneven illumination. The discrete cosine transform (DCT) is carried out and the frequency characteristic is deeply analyzed for dermoscopy images. It is found that defocus blur mainly affects the direct current (DC) component while uneven illumination mainly affects the first alternating current (AC) component. According to this finding, a quality assessment model is proposed in the frequency domain. Defocus blur signal is successfully separated from uneven illumination signal firstly, and then two metrics respectively for defocus blur and uneven illumination signals are calculated. Experiment results show that the proposed metrics can not only evaluate dermoscopy images with the single type of distortion caused by either defocus blur or uneven illumination, but also evaluate the ones with both of them at the same time. The evaluation results are stable, objective, independent, and consistent with the subjective evaluation results.

Key words Dermoscopy image, image quality assessment, defocus blur, uneven illumination, discrete cosine transform (DCT)

Citation Lu Ya-Nan, Xie Feng-Ying, Zhou Shi-Xin, Jiang Zhi-Guo, Meng Ru-Song. Non-reference quality assessment of dermoscopy images with defocus blur and uneven illumination distortion. *Acta Automatica Sinica*, 2014, 40(3): 480–488

皮肤镜作为一种无创性皮肤疾病诊断工具, 在临床上可用于诸多皮肤疾病的诊断. 然而, 对于没有经验的医师或操作人员, 采集到的皮肤镜图像经常

会存在散焦模糊、光照不均、低对比度、毛发以及气泡等失真现象, 给后续临床医师以及皮肤镜自动分析系统的分析诊断带来困难. 如果在皮肤镜图像送入医师或分析诊断系统之前就能够对皮肤镜的采集质量进行客观评价, 对低质量的图像进行重新采集, 则可确保医师以及自动分析系统能够获取到高质量的皮肤镜图像, 有效提高后续分析诊断的准确率.

客观的图像质量评价方法根据对参考图像的依赖程度可以分为有参考评价和无参考评价^[1]. 有参考评价方法是指在评价过程中需要参考图像的全部或部分信息的评价方法, 此类方法研究的时间较长, 很多算法已经非常成熟并广泛应用. 传统的算法如峰值信噪比、均方根误差, 是最为熟知、应用最为广泛的客观评价算法^[2], 但有些情况下, 这两类算法与

收稿日期 2012-10-25 录用日期 2013-08-19
Manuscript received October 25, 2012; accepted August 19, 2013

国家自然科学基金 (61027004, 61071138), 北航重点培育基金 (YWF-12-LXGY-013) 资助

Supported by National Natural Science Foundation of China (61027004, 61071138), and the Science Foundation of Beihang University (YWF-12-LXGY-013)

本文责任编辑 戴琼海

Recommended by Associate Editor DAI Qiong-Hai

1. 北京航空航天大学宇航学院图像处理中心 北京 100191 2. 内蒙古兴安职业技术学院 乌兰浩特 137400 3. 中国人民解放军空军总医院皮肤科 北京 100142

1. Image Processing Center of Beihang University, Beijing 100191 2. Xing An Vocational and Technical College, Ulan Hot 137400 3. General Hospital of the Air Force, PLA, Beijing 100142

人眼评价不完全相符。Wang 等提出的结构相似度则大大地提高了客观评价与主观评价的符合程度^[3]。无参考评价方法是指在没有任何参考图像信息的情况下估计失真图像的质量。这种无参考的估计难度非常大,通常需要借助失真类型这个先验知识。即使对于同是压缩评价的 JPEG 和 JPEG2000 因其压缩过程不同,无参考评价的算法也是不相同的^[4-5]。近几年有不少学者致力于综合评价算法的研究,希望找到一种对所有失真类型有效的评价算法,虽然也取得了一些成果,但与主观评价结果的一致性远不如针对特定类型的评价算法^[6]。

在皮肤镜图像采集过程中,每个人的皮肤颜色纹理不同,病变类型不同,不可能获得每一幅图像的无失真参考图像,因此,需要无参考的评价方法。本文针对散焦模糊和光照不均两种失真类型进行分析。关于模糊的评价算法有空间域基于边缘检测的算法,用边缘的宽度^[7]或边缘的锐度^[8]来表征图像的清晰度。基于频域的方法^[9]是通过衡量变换域中的高频分量来表示图像的清晰程度。基于分类器的模糊评价方法^[10]通过模糊图像的特征训练分类器,由分类器判断待评价图像的模糊程度。关于光照不均的研究主要集中在光照不均的估计与消除^[11-14]。在文献[11]中,作者以一组基本函数的线性组合来建模光照不均,在分割的同时估计光照不均。文献[12]对失真图像用高斯模板滤波,将滤波后得到的图像反转再与原图像叠加得到消除光照不均的图像。文献[13]提供了一种在拉普拉斯假设下对光照进行处理的方法,文献[14]是基于稀疏学习的方法,通过低秩变换对光照进行分离。以上的研究或是针对模糊或是针对光照不均,都是针对单一失真类型进行的研究。而当图像中同时存在模糊和光照不均两种失真时,未见文献报导相关的分析结果。

针对模糊和光照不均两种失真同时存在的皮肤镜图像,论文深入分析这两种失真类型对图像频谱的影响,通过离散余弦变换(Discrete cosine transform, DCT)成功分离两种失真信号,在变换域设计质量评价模型,确定质量评价标准。该评价方法既可以测量模糊或光照不均单一失真类型的失真程度,也可以适应两种失真同时存在的情况,评价结果互相独立且符合主观评价。

在下面的章节中,第 1 节将对皮肤镜图像中的模糊和光照不均失真现象进行分析;第 2 节分析皮肤镜失真图像的频谱特性;第 3 节给出评价算法;第 4 节是实验结果与分析;第 5 节给出结论。

1 皮肤镜图像中模糊和光照不均失真现象的分析

模糊失真主要包括运动模糊和散焦模糊两种类

型,由于皮肤镜图像采集时人体是静止的,因此影响图像质量的主要是由于不聚焦所产生的散焦模糊(以下简称模糊)。

而光照不均现象多由偏光、多个光照、角度强弱等问题引起。而由于皮肤镜是通过自带的内置光源成像的,光照情况稳定^[15],所产生的光照不均主要是由于在采集过程中,人体皮肤距离光源的远近不同所导致的明暗变化,如图 1 所示。图 1 是临床上常见的 3 种典型光照不均情况,其中,图 1(a)所示的是 4 个角偏暗的现象,这一点类似于显微镜成像中的球面效应,一般在图像分析中采取剪裁的方式,只保留图像中心的一个圆区作为有效区域,如图 2 所示。在这个中心有效区域内,图像中的光照是基本保持不变的,本文中也是这样处理的,因此,它不作为本文研究的问题。而对于图 1(b)和图 1(c)所示的一个角偏暗和一侧偏暗的现象,由于人体皮肤和肌肉的不固定性,以及人体不同部位器官乃至骨骼的变化,并不能保证皮肤镜在一个平面上成像,因此这两类光照失真现象是影响皮肤镜图像采集质量的一个主要因素。而又由于一侧偏暗和一个角偏暗的现象并没有本质的区别,只是明暗变化的角度不同,因此,在下一节中,本文将这两种光照不均归结为同一类失真现象进行研究。

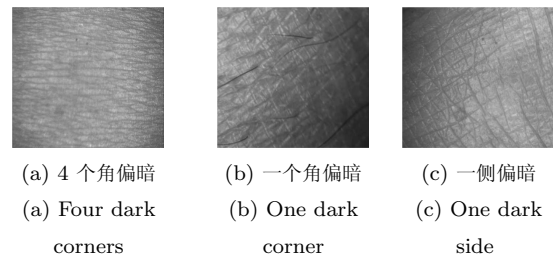


图 1 皮肤镜采集失真图例
 (a) 4 个角偏暗 (b) 一个角偏暗 (c) 一侧偏暗
 (a) Four dark (b) One dark (c) One dark
 corners corner side

图 1 皮肤镜采集失真图例

Fig. 1 Distorted dermoscopy images

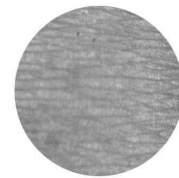


图 2 图 1(a) 所对应的有效区域

Fig. 2 The effective region of Fig. 1(a)

2 图像中模糊和光照不均的频谱特性分析

图像的大致轮廓对应频域里的低频成分,图像的细节对应频域里的高频成分。图像的空间域与频域是一一对应的,空间域的失真必然会在频域里有所反映。皮肤镜图像在采集过程中经常会出现模糊和光照不均两种失真同时存在的现象。由于模糊损

失的是图像中的细节,在频域里表现为高频分量的减少,低频分量的增加.而光照不均的空间域中可以理解为理想图像叠加上一个渐变模板,即叠加了一个低频分量,所以光照不均的频域表现同样是低频分量增加,高频分量减少.不同的失真类型代表不同的信号处理系统,其对图像频谱的影响也是不同的.根据这一思想,我们将具有模糊和光照不均的皮肤镜图像采用离散余弦变换映射到频域空间,对其频域特性进行分析.

离散余弦变换是与傅里叶变换相关的一种变换,它类似于离散傅里叶变换,但是只使用实数.离散余弦变换具有很强的“能量集中”特性:大多数的自然信号(包括声音和图像)的能量都集中在离散余弦变换后的低频部分,而且当信号具有接近马尔科夫过程的统计特性时,离散余弦变换的去相关性接近于K-L变换的性能^[16].对于 $N \times N$ 的图像 $f(x, y)$,二维离散余弦变换公式为

$$F(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \times \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \quad (1)$$

其中, $u = 0, 1, 2, \dots, N-1, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$, $F(u, v)$ 为变换后的图像系数,当 $\lambda = 0$ 时, $\alpha(\lambda) = \sqrt{\frac{1}{N}}$;当 $\lambda \neq 0$ 时, $\alpha(\lambda) = \sqrt{\frac{2}{N}}$.

直流分量与各频率交流分量的能量值可以近似为

$$E(0) = F(0, 0)$$

$$E(i) = \frac{\sum_{u=0}^i \sum_{v=0}^i |F(u, v)| - \sum_{u=0}^{i-1} \sum_{v=0}^{i-1} |F(u, v)|}{2i+1} \quad (2)$$

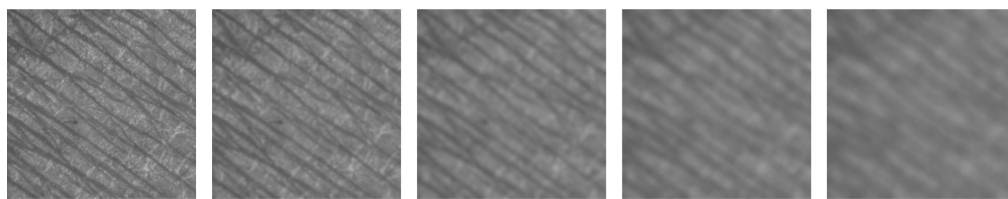
其中, $i = 1, 2, \dots, N-1, |\cdot|$ 为取绝对值.对 $E(i)$ 归一化:

$$E_{\text{normal}}(i) = \frac{E(i)}{\sum_i E(i)} \quad (3)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, N-1$.则 $E_{\text{normal}}(0)$ 为归一化的直流分量的值, $E_{\text{normal}}(1)$ 为归一化的第一交流分量的值.

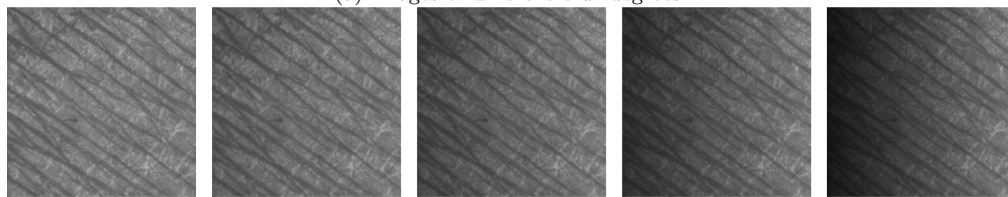
为了探究模糊与光照不均对皮肤镜图像的影响,我们参考领域内的研究方法^[17]对一张真实拍摄的皮肤图像通过计算机模拟添加不同程度的失真,如图3所示.我们对这一组图像进行离散余弦变换,并对频域分量进行统计,计算其直流分量以及第1至第9交流分量的能量值,结果如图4所示.从图4(a)可以看出,不同程度的模糊表现在直流分量的大幅波动上,而对第1至第9交流分量的影响非常小.从图4(b)可以看出,不同程度的光照不均主要影响第1交流分量,而对于直流分量以及第2至第9交流分量的影响也是非常小的.

虽然两种失真信号对第2至第9交流分量均有影响,但影响都非常小,对于频率更高的交流分量影响更小.因此,我们将除直流分量与第1交流分量之外的分量忽略不计,而只研究两种失真在直流分量和第1交流分量上的影响.假如模糊使图像的频谱只在直流分量有波动且不影响第一交流分量,光照不均只影响第一交流分量且对直流分量没有影响,那么,当图像中同时存在模糊和光照不均两种失真



(a) 不同程度模糊图像示例

(a) Images of different blur degrees



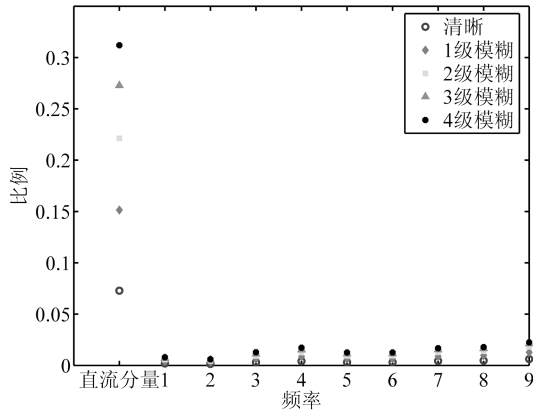
(b) 不同程度光照不均图像示例

(b) Images of different non-uniform illumination degrees

图3 模糊与光照不均图像示例

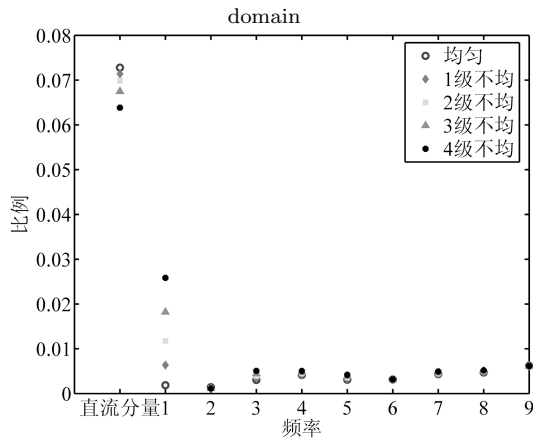
Fig. 3 Blur and non-uniform illumination images

时, 我们可以直接用直流分量和第 1 交流分量的变化来衡量模糊和光照不均的程度. 但由于两种失真使得两种失真互不影响或尽可能降低到可以忽略的程度, 才能得到客观的评价结果.



(a) 模糊图像的频域变化

(a) Differences of blurred images in frequency



(b) 光照不均图像的频域变化

(b) Differences of non-uniform illumination images in frequency domain

图 4 失真图像的频域分析

Fig. 4 Frequency analysis of distorted images

因此, 现在面临的问题就是要设计评价指标, 既能很好地表征模糊和光照不均的程度, 又不会互相影响. 这一问题将在下一节进行解决.

3 皮肤镜图像模糊和光照不均的评价

3.1 模糊和光照不均测度的设计

针对模糊失真, 由于光照不均是一幅图像在整体上的失真, 在一个小的区域范围内光照不均是可以忽略的, 而模糊无论在多小的区域中都是存在的. 因此, 我们将图像分块, 计算每个小块的直流分量, 用各个小块的直流分量平均值来表征整幅图像的模糊水平. 这样就可以消除或降低光照不均对直流分

量的影响, 从而给出正确的模糊测度.

针对光照不均, 一方面, 由于模糊无论在多大的区域中都是存在的, 因此, 模糊对第一交流分量的影响可以由各个小块区域的第一交流分量的值体现出来; 另一方面, 光照不均属于全局性的失真信号, 整幅图像的第一交流分量的变化能够体现出光照不均的程度. 这样, 用整幅图像的第一交流分量减去各个小块第一交流分量的平均值, 就可以消除或降低模糊对第一交流分量的影响, 进而得到光照不均的测度.

基于以上分析, 我们设计模糊和光照不均的评价指标. 将图像分为 $n \times n$ 个子块, 对于第 j ($j = 1, 2, \dots, n \times n$) 个子块, 其归一化的各频率分量 Enormal_block_j 同样可以由式 (3) 得到, 则各子块的平均值为

$$\text{Enormal_block} = \frac{1}{n \times n} \sum_{j=1}^{n \times n} \text{Enormal_block}_j \quad (4)$$

则定义模糊 $blur$ 和光照不均 non 的公式为

$$blur = \text{Enormal_block}(0) \quad (5)$$

$$non = \text{Enormal}(1) - \text{Enormal_block}(1) \quad (6)$$

以上两个值分别表征模糊的程度和光照不均的程度. 即模糊的程度由各个子块直流分量的平均值决定, 光照不均程度由整体第一交流分量的值与各个子块第一交流分量平均值之差决定. 图 5 给出了算法的基本流程.

3.2 评价模型修正

经过第 3.1 节的理论分析, 我们已经找到了用来衡量模糊和光照不均的量 $blur$ 与 non , 可以用来作为图像质量的评价值, 值越大分别代表模糊程度与光照不均程度越大, 然而究竟多大的值对应多大程度的失真并没有主观的感受. 为了将评价值与主观感受结合起来, 我们在评价结果给出前, 通过统计学习的方法对 $blur$ 与 non 的值做一个非线性变换, 修正 $blur$ 与 non 的计算结果, 以此作为最终的评价值.

首先, 我们将一些失真图像按照不同的模糊程度分级, 得到 $n + 1$ 个等级的模糊图像集, 其中, 0 级代表清晰图像, 1 级至 n 级模糊代表模糊程度越来越高. 同样过程, 可以得到 $m + 1$ 个等级的光照不均图像集. 统计每一个图像的相应模糊和光照不均特征值, 将一个图集的平均值作为该等级的特征值. 这样就得到了 $blur_i$ ($i = 0, 1, 2, \dots, n$), non_i ($i = 0, 1, 2, \dots, m$) 共 $n + m + 2$ 个特征值. 对待评价的图像计算其特征值 $blur$ 与 non 其模糊的

评价值为

$$BL = \begin{cases} 0, & b \leq b_0 \\ \frac{b - b_{i-1}}{b_i - b_{i-1}} + (i - 1), & b_{i-1} \leq b \leq b_i \\ n, & b_n < b \end{cases} \quad (7)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, n$, b 代表 *blur*. 同理, 其光照不均的评价值为

$$NL = \begin{cases} 0, & n \leq n_0 \\ \frac{n - n_{i-1}}{n_i - n_{i-1}} + (i - 1), & n_{i-1} \leq n \leq n_i \\ m, & n_m < n \end{cases} \quad (8)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m$, n 代表 *non*.

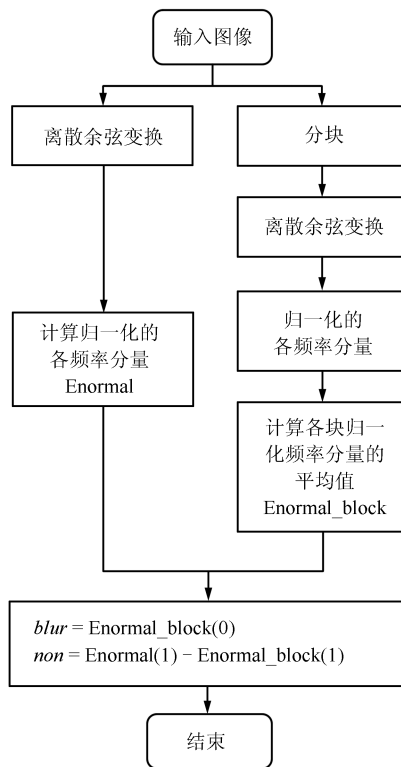


图 5 计算流程图

Fig. 5 Calculation flowchart

经此变换, 模糊与光照不均的评价值分别被限定在了 $n + 1$ 和 $m + 1$ 个级别. 实际应用中, n 和 m 的取法可以根据需要自行设定. 本文中, 我们将 n 和 m 均取为 4, 即 5 个等级的模糊和 5 个等级的光照不均, 其中, 0 代表无失真, 4 则代表最高级别的模糊或光照不均失真. 这样, 我们就可以从计算结果很直观地判断该幅图像的失真程度. 例如, 针对一个图像集, 根据式 (7) 计算其中的一幅图像的模糊

值是 3.2, 则可以判断该图像大致为 3 级模糊, 而如果根据式 (8) 计算该幅图像的光照不均值是 1.7, 则可以判断该图像接近 2 级光照不均.

4 实验结果与分析

算法性能的测定分为以下 4 个方面: 1) 两种测度的相互独立性; 2) 单项失真时两种测度的有效性; 3) 混合失真时两种测度的有效性; 4) 客观评价与主观评分的符合度.

4.1 两种测度的相互独立性

本文提出的两种测度算法的设计宗旨是希望每个测度只对自己所对应的失真类型有效, 而几乎不受另一失真的影响. 为了验证本文定义的这两个测度对模糊和光照不均是否具有独立性, 我们对 200 幅正常图像, 分别添加 4 个等级的模糊和 4 个等级的光照不均, 即模糊和光照不均是单一类型存在, 不相互混叠, 图 6 是对 200 幅图像的统计结果. 其中, 图 6(a) 是不同程度光照不均图像的 *non* 值, 图 6(b) 是不同程度模糊图像的 *non* 值, 显然, *non* 值可以用于区分光照不均, 且基本不受模糊的影响. 同理由图 6(c) 和图 6(d) 可以确定 *blur* 值用于区分模糊, 且基本不受光照不均程度的影响.

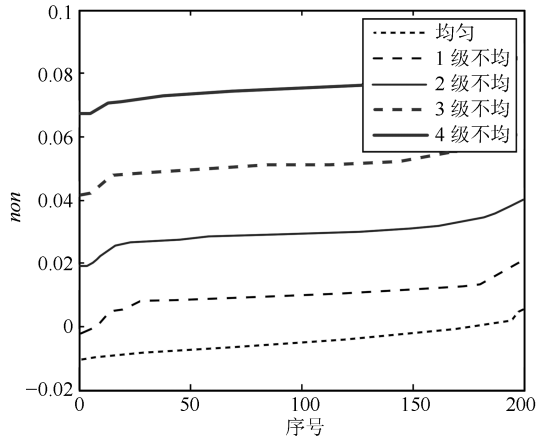
图 6 的统计结果表明算法达到了预期的目的, 既然这两种测度只随各自所对应失真的程度变化而变化, 几乎不受另一失真的影响, 那么一定可以用于两种失真混叠存在的图像的质量评价, 后续的实验结果也充分说明了这一点.

4.2 单项失真时两种测度的有效性

选择已知失真级别的模拟失真图 79 张, 其中不同级别模糊失真图 42 张, 采用式 (7) 计算其模糊值, 图 7 是模拟图像的实际模糊值与实际计算结果的散点图. 同样, 我们选择不同级别光照不均失真图 37 张, 采用式 (8) 计算其光照不均值, 图 8 是实际光照不均与计算得到的光照不均的散点图. 计算图 7 和图 8 的 Spearman 相关系数, 相关系数的绝对值越是接近 1, 相关性越高, 本文模糊与光照不均的相关系数分别为 0.998 与 0.999, 可见计算失真程度与实际失真程度相关性非常高.

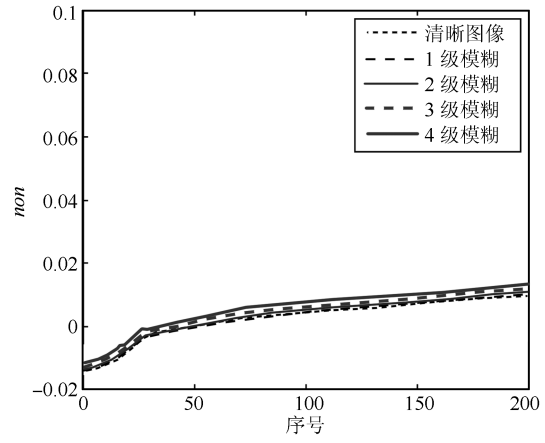
4.3 混合失真时两种测度的有效性

将添加了混合失真的模拟失真图按模糊与光照不均的程度分为 16 类, 如表 1 所示, 每类图像 20 幅, 共 320 幅. 计算每一类混合失真图像集的模糊和光照不均平均值, 统计结果如表 1 所示. 从表 1 中可以看出, 对于每一列, 当光照不均固定的情况下, 随着模糊级别从 0 到 4 变化, 计算出的模糊平均值也从小到大变化; 而对于每一行, 当模糊程度固定的



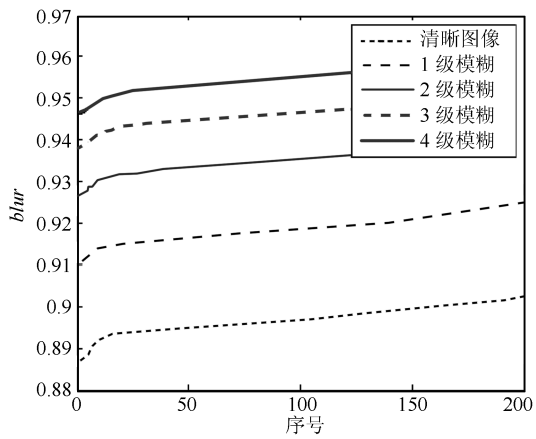
(a) 光照不均图像的 *non* 值

(a) *non* for non-uniform illumination images



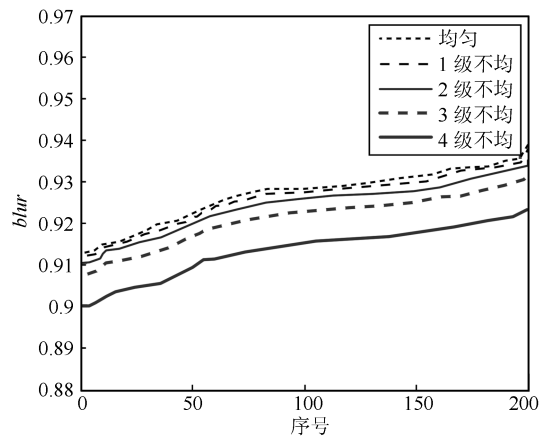
(b) 模糊图像的 *non* 值

(b) *non* for blurred images



(c) 模糊图像的 *blur* 值

(c) *blur* for blurred images



(d) 光照不均图像的 *blur* 值

(d) *blur* for non-uniform illumination images

图 6 算法分析

Fig.6 Algorithm analysis

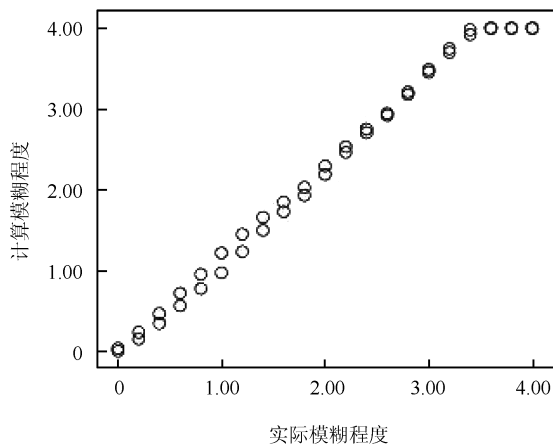


图 7 模糊失真计算结果

Fig.7 The results of blur distortion

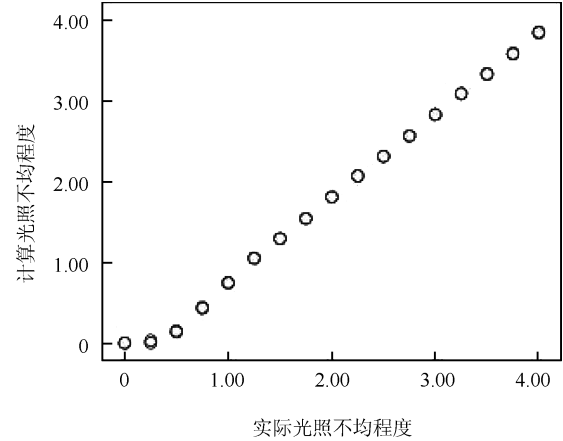


图 8 光照不均失真计算结果

Fig.8 The results of non-uniform illumination distortion

情况下,随着光照不均的程度增加,计算出的光照不均平均值也逐渐增加;而对于整个表格,从左上角至右下角,模糊和光照不均的统计值是逐级增加的.以上分析说明本文算法能很好地评价混合失真情况下的模糊与光照不均程度.

4.4 客观评价值与主观评分的符合度

对于一幅图像,我们用本文方法计算出模糊(BL)和光照不均(NL)两个值以后,用两个值的平均作为一幅图像的综合质量评价值.现在,我们来验证本文方法得到的一幅图像的客观评价值与人眼主观评价结果的符合程度.

我们组织 22 名图像处理专业的实验人员在接受皮肤科专业医生培训后对实际采集到的 40 幅失真图像进行主观评价,这 40 幅测试图像同时包含了单项失真与混合失真的情况,主观评价方法与数据处理方式参考文献 [2, 18].

用本文的算法对 40 幅图进行评分,并与主观评价结果进行映射统计,单项的评价结果以及综合评价结果分别如图 9~图 11 所示.我们选择同样基于离散余弦变换的文献 [6] 中的综合评价算法 BLIINDS 来做对比实验.采用文献 [6] 进行统计的结果如图 12 所示.计算客观评价值与主观评价值之间的相关系数,本文方法的相关系数分别为 0.908、0.853 和 0.888, BLIINDS 方法的相关系数为 -0.846.相关系数的绝对值越高,说明客观评价与主观评价的一致性越高,因此,本文方法与主观评价具有更好的符合程度.

5 结论

本文对皮肤镜图像中模糊和光照不均两种失真的频谱特性进行分析,揭示出模糊失真主要影响直流分量,而光照不均则主要影响第一交流分量.根据这一性质,我们首先对图像进行离散余弦变换,在此基础上,通过分块的方法将模糊与光照不均之间的相互影响有效分离,提出了模糊和光照不均两种测度,并通过统计学习的方法确定了评价标准,实现

了皮肤镜图像在模糊和光照不均情况下的有效评价.在实验分析阶段,我们从单项失真类型和混合失真类型两个方面的实验充分验证了本文算法提出的两种失真测度相互独立,不但能够评价单一失真类型的皮肤图像,同时也适用于模糊和光照不均两种失真混叠存在的情况.实验的最后,我们通过主观评价的对比分析,进一步验证了本文算法与主观评价具有更好的符合程度.

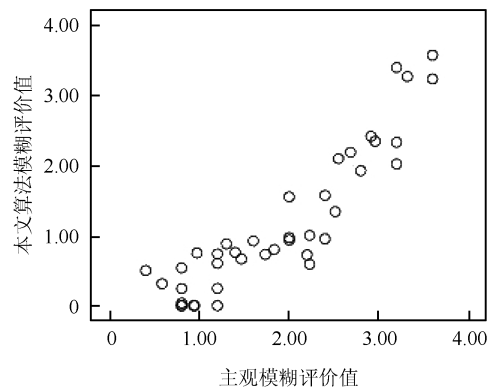


图 9 本文算法模糊评价结果

Fig. 9 The blur evaluation results of our method

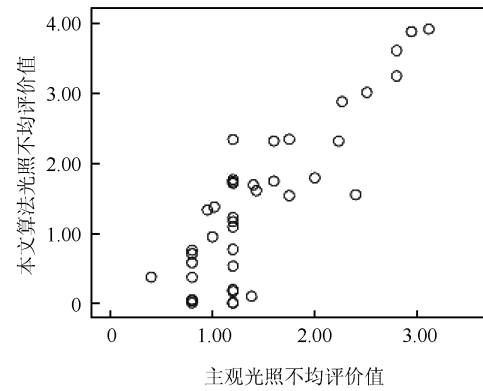


图 10 本文算法光照不均评价结果

Fig. 10 The non-uniform illumination evaluation results of our method

表 1 混合失真计算结果

Table 1 The results of mixed distortions

	不均 1	不均 2	不均 3	不均 4
模糊 1	(20, 1.35, 1.04)	(20, 1.33, 2.07)	(20, 1.29, 3.08)	(20, 1.17, 3.99)
模糊 2	(20, 2.46, 1.26)	(20, 2.41, 2.25)	(20, 2.32, 3.24)	(20, 2.09, 4.00)
模糊 3	(20, 3.57, 1.45)	(20, 3.49, 2.42)	(20, 3.31, 3.39)	(20, 2.90, 4.00)
模糊 4	(20, 4.00, 1.59)	(20, 4.00, 2.54)	(20, 3.96, 3.49)	(20, 3.60, 4.00)

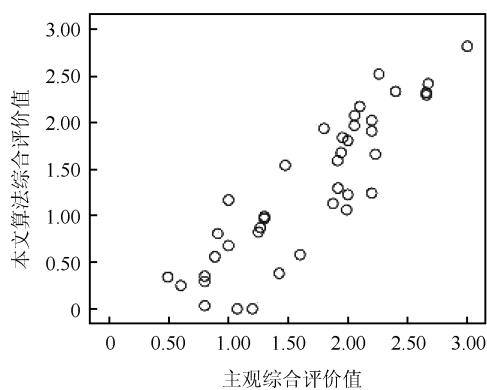


图 11 本文算法综合评价结果

Fig. 11 The overall evaluation results of our method

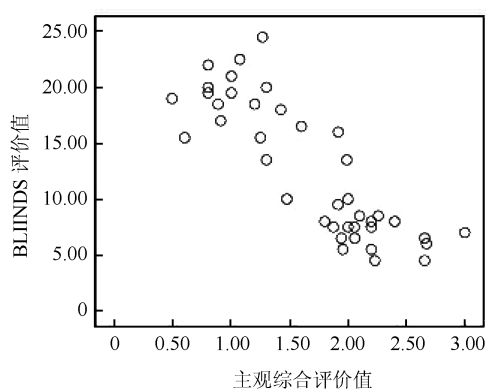


图 12 BLIINDS 评价结果

Fig. 12 The evaluation results of BLIINDS

需要说明的是, 受自身知识与客观资源的限制, 主观评价实验的设计不一定完备, 主观评价价值存在一定的不准确性, 在以后的研究中我们将逐渐完善. 另一方面, 在图像综合质量的评价方面, 本文目前只是将模糊和光照不均两个失真信号的失真度进行平均. 实际上, 不同的失真类型对后续图像的分割及分析应该具有不同的影响, 因此, 下一步我们将深入分析皮肤镜图像模糊和光照不均对后续图像分割乃至分析诊断所造成的影响, 根据该影响的大小确定各自的权值, 用加权平均代替本文中的加和平均, 以期得到更科学的评价结果.

References

- 1 Introduction to Image and Video Quality Assessment [Online], available: <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/intro.htm>, August 26, 2013
- 2 VQEG. Final Report From the Video Quality Experts Group on the Valiadation of objective models of video quality assessment [Online], available: <http://www.vqeg.org>, August 26, 2013
- 3 Wang Z, Bovik A C. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, **13**(4): 600–612
- 4 Wang Z, Sheikh H R, Bovik A C. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images. In: Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Image Processing. New York, USA: IEEE, 2002. 477–480
- 5 Sheikh H R, Bovik A C, Cormack L. Blind quality assessment of JPEG2000 compressed images using natural scene statistics. In: Proceedings of the 2003 IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers. California, USA: IEEE, 2003. 1403–1407
- 6 Saad M A, Bovik A C, Charrier C. DCT statistics model-based blind image quality assessment. In: Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Image Processing. Brussels, Belgium: IEEE, 2011. 3093–3096
- 7 Marziliano P, Dufaux F, Winkler S, Ebrahimi T. A no-reference perceptual blur metric. In: Proceedings of the 2002 International Conference on Image Processing. New York, USA: IEEE, 2002. 57–60
- 8 Wang X, Tian B F, Liang C. Blind image quality assessment for measuring image blur. In: Proceedings of the 2008 Congress on Image and Signal Processing. Sanya, China: IEEE, 2008. 467–470
- 9 Lu C. No-reference image blur measurement based on wavelet high-frequency domain analysis. In: Proceedings of the 2010 International Conference on Information Science and Engineering. Hangzhou, China: IEEE, 2010. 3844–3846
- 10 Chen M J, Bovik A C. No-reference image blur assessment using multiscale gradient. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2011, **2011**(3): 1–11
- 11 Wei W Y, Li Z M, Zhang G Q. Novel fuzzy clustering-base image segmentation with simultaneous uneven illumination estimation. *Information Technology Journal*, 2011, **10**(3): 607–610
- 12 Leong F J W M, Brady M, McGee J O D. Correction of uneven illumination (vignetting) in digital microscopy images. *Journal of Clinical Pathology*, 2003, **56**(8): 619–621
- 13 Deng Y, Dai Q H, Zhang Z K. Graph Laplace for occluded face completion and recognition. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, **20**(8): 2329–2338
- 14 Deng Y, Dai Q H, Liu R S, Zhang Z K, Hu S Q. Low-rank structure learning via nonconvex heuristic recovery. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2013, **24**(3): 383–396

- 15 Meng Ru-Song, Cai Rui-Kang, Zhao Guang, Cheng Xiao-Xiang, Jiang Zhi-Guo, Zhou Fu-Gen, Yang Ze-Sheng, Chen Jin. Study on analysis technology of polari-light skin scope digital image and application in diagnosing pigment injured skin. *Chinese Journal of Stereology and Image Analysis*, 2006, **11**(2): 122–126

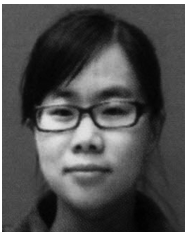
(孟如松, 蔡瑞康, 赵广, 成晓湘, 姜志国, 周付根, 杨泽生, 陈进. 偏振光皮肤镜数字图像分析技术的研究及在色素性皮肤病诊断中的探讨. *中国体视学与图像分析*, 2006, **11**(2): 122–126)

- 16 Rao K R, Yip P. *Discrete Cosine Transform: Algorithms, Advantages, Applications*. Boston: Academic Press, 1990

- 17 LIVE image and video quality assessment [Online], available: <http://live.ece.utexas.edu/>, August 26, 2013

- 18 Zhou Jing-Chao, Dai Ru-Wei, Xiao Bo-Hua. Overview of image quality assessment research. *Computer Science*, 2008, **35**(7): 1–4

(周景超, 戴汝为, 肖柏华. 图像质量评价研究综述. *计算机科学*, 2008, **35**(7): 1–4)



卢亚楠 北京航空航天大学宇航学院博士研究生. 2011 年获得北京航空航天大学宇航学院学士学位. 主要研究方向为图像质量评价.

E-mail: yn.lu@sa.buaa.edu.cn

(**LU Ya-Nan** Ph.D. candidate at the School of Astronautics, Beihang University. She received her bachelor

degree from Beihang University in 2011. Her main research interest is image quality assessment.)



谢凤英 北京航空航天大学图像中心副教授. 2009 年获得北京航空航天大学模式识别与智能系统博士学位. 主要研究方向为生物医学图像处理, 图像分割, 目标的检测和识别. 本文通信作者.

E-mail: xfy_73@buaa.edu.cn

(**XIE Feng-Ying** Associate professor at the Image Processing Center in

Beihang University. She received her Ph.D. degree of pattern recognition and intelligent systems from Beihang University in 2009. Her research interest covers biomedical image processing, image segmentation, object detection and recognition. Corresponding author of this paper.)



周世新 内蒙古兴安职业技术学院经济管理学院副教授. 1989 年获得东北师范大学数学专业学士学位. 主要研究方向为应用数学, 图像处理中的数学方法.

E-mail: zhshx6305@163.com

(**ZHOU Shi-Xin** Associate professor at the School of the Economics and Management, Xing An Vocational and

Technial College. She received her bachelor degree from Northeast Normal University in 1989. Her research interests covers applied mathematics and mathematics in image processing.)



姜志国 北京航空航天大学图像中心教授. 主要研究方向为数字图像处理与识别, 医学图像分析、识别及应用, 遥感图像目标检测、跟踪与识别.

E-mail: jiangzg@buaa.edu.cn

(**JIANG Zhi-Guo** Professor at the Image Processing Center in BeiHang University. His research interest covers

remote sensing image analysis and recognition, target detection, tracking and recognition.)



孟如松 空军总医院皮肤科主任技师, 教授. 主要研究方向为皮肤组织病理, 生物组织成像, 皮肤镜图像分析技术在临床上的开发与应用研究.

E-mail: mrs5822@sohu.com

(**MENG Ru-Song** Professor at General Hospital of the Air Force of PLA. His research interest covers mor-

phologic analysis of histiocyte, derma pathology, and the clinic application of image analysis technology for dermatology image.)