

融合二级评价指标的人脸图像质量评价方法

邹国锋¹, 傅桂霞¹, 李震梅¹, 李海涛¹, 王科俊²

(1. 山东理工大学电气与电子工程学院, 山东 淄博 255049;

2. 哈尔滨工程大学自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对姿态和光照对人脸的干扰, 提出基于子区域直方图距离的人脸对称度评价方法, 用于评估非对称光照和姿态对人脸质量的影响。提出针对含有人脸的原始图像质量的第一级评价与针对人脸有效区域的第二级评价相融合的评价策略, 第一级评价的反馈信息能有效指导图像采集环境构建和改善, 为后期人脸检测和识别提供优质图像源。主要评价指标包括: 对比度、适宜度、对称度、清晰度、人脸有效区域面积等物理参数。实验结果表明了本研究提出的对称度评价方法和融合二级指标评价策略的可靠性与准确性。

关键词: 人脸图像质量评价; 子区域直方图; 对称度; 对比度; 适宜度; 清晰度; 有效区域面积

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

Face image quality evaluation method based on the fusion of two level evaluation indexes

ZOU Guofeng¹, FU Guixia¹, LI Zhenmei¹, LI Haitao¹, WANG Kejun²

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, Shandong, China;

2. College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, Heilongjiang, China)

Abstract: To overcome the influence of face pose and illumination, the face symmetry degree evaluation method based on sub-regions histogram distance was proposed, which could be used to evaluate the effect on face quality of asymmetric illumination and pose. A novel evaluation strategy was proposed, which was the fusion of the first level evaluation index for the original natural image including face and the second level evaluation index for face effective area. The feedback information of the first level evaluation could effectively guide the construction and improvement of image acquisition environment, to provide high quality image source for the latter part of face detection and recognition. The main evaluation indexes included contrast degree, suitability degree, symmetry degree, clarity and effective area. Experiment results showed that the proposed symmetry degree evaluation method and the fusion strategy of two level evaluation indexes had good reliability and accuracy.

Key words: face image quality evaluation; sub-regions histogram distance; symmetry degree; contrast degree; suitability degree; clarity; effective area

0 引言

人脸识别是模式识别领域非常活跃的研究方

向, 被认为是一种可广泛应用的生物特征识别技术。近年来, 人脸识别研究取得了较大进展, 但这些研究一般都采用图像质量较高的人脸库。尽管测试识别准确率较高, 但实际应用中因光照、姿态、年龄、分辨

收稿日期: 2015-05-12

网络出版时间: 2016-03-02 11:14:21

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/37.1391.T.20160302.1114.002.html>

基金项目: 山东省自然科学基金博士基金资助项目(ZR2015FL029); 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(51407112)

作者简介: 邹国锋(1984—), 男, 山东泰安人, 讲师, 博士, 主要研究方向为人脸检测与识别, 生物特征识别与智能监控, 模式识别理论及应用。

E-mail: zgf841122@163.com

率变化,人脸识别算法的表现大打折扣。因此,针对低质量人脸图像,研究者开始着手研究鲁棒的识别方法,目前已取得一定进展^[1-3],但离实际应用仍有差距。因此,必须从图像质量评价的角度出发研究新的解决方案。

目前,国内外有关学者对图像质量评价进行了一些初步探讨,提出了一些质量评价方法^[4-6]。DAYRON R R等采用三角网状区域光照直方图评价图像的光照质量,并将指标引入人脸识别^[7];AY-MAN A分别从对比度、亮度、光照、锐度等方面来判断人脸质量^[8];JONATHON PHILLIPS P采用一种贪婪的裁剪排序算法进行人脸图像质量评价^[9];胡杨庆等分别利用人脸位置、人脸角度、对比度、清晰度、明亮度等指标对人脸图像质量进行综合评价^[10];闫日亮等则结合信息熵和Harris算法对人脸图像质量作出相应评价^[11];高修峰等人提出一种基于人脸对称性的方法评价人脸识别中的非对称光照和不正确姿态问题^[12-13];杨飞等提出一种基于倒谱的人脸图像清晰度评价方法^[14];LU W等提出基于小波变换方法用于人脸质量评价^[15]。已有的人脸图像质量评价往往都是针对有效人脸区域的评价,并没有考虑有效人脸区域所在的原始自然图像的质量问题,这在实际的人脸识别系统无法提前滤除质量较差的人脸图像,给后期的人脸图像处理和特征提取增加了负担。

自动人脸识别应用中,如果分别对包含人脸的原始自然图像和获得的人脸区域图像进行质量评价,筛选较为合适的人脸用于识别,这将提高人脸识别系统的准确率。针对包含人脸的原始自然图像进行质量评价,评价指标可用于指导图像采集过程、采集环境的构建和改善,可给后期的人脸检测和识别提供较好的图像源。针对获取的人脸区域图像的质量评价结果,能够用于指导选用相应的图像预处理或图像恢复方法改善图像质量,提高识别率^[16-18]。

鉴于人脸图像质量评价在人脸识别过程中的重要意义,本研究提出一种融合二级评价指标的人脸图像质量评价方法。首先,根据人脸图像采集环境特性,以人类视觉对图像的认知功能特征为基础,综合分析了影响人脸图像质量的客观因素和主观因素,其中客观因素主要指环境因素,主观因素主要指人的配合程度。其次,采用图像对比度和适宜度2个指标的融合,建立对影响原始自然人脸图像质量的环境因素的第一级评价。对通过一级质量评价的图像,执行人脸区域检测,对检测出的人脸区域图像,本研究采用有效区域面积、人脸对称度、清晰度、

适宜度4个评价人脸的物理参数^[19-22],建立对人脸区域图像的第二级质量评价。最后,将两级评价指标进行融合,得出最终的人脸图像质量评价结果,该结果可用于指导后续人脸识别或相似度计算过程。

针对光照和姿态的干扰,本研究提出了一种基于子区域直方图距离的人脸对称度计算方法,用于评估由非对称光照和姿态变化带来的人脸图像质量问题。试验结果最终表明,采用本研究的方法所得评价结果与人的视觉感受基本一致,说明该方法具有较好的可靠性和准确性。

1 结合图像质量评价的人脸识别

根据人脸图像质量影响因素的产生过程不同,本研究将人脸图像质量影响因素概括为主观和客观两个方面。主观因素主要取决于用户的配合程度,而客观因素则取决于图像的采集环境。图1给出了具体的影响因素分类。

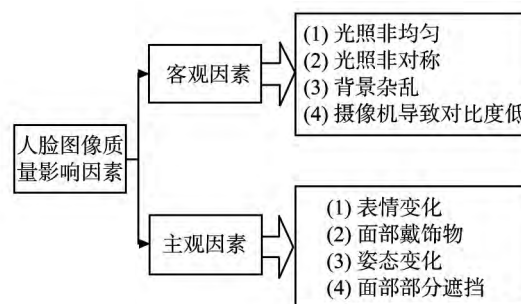


图1 人脸图像质量影响因素分类

Fig. 1 Classification of the factors influencing the face image quality

如图1所示,影响人脸图像质量的因素很多,因此需全面考虑各因素对人脸识别系统整体性能的影响,应在不同层次上评价图像质量。人脸图像质量评价算法的输入是一幅包含人脸的自然图像,输出是相应的图像质量评价结果。该结果可以是一个标量或向量,标量通常是多个质量评价分数的融合结果,而向量则是由各个不同的质量分数构成。本研究采用了融合客观和主观两级质量评价分数的方法,获取最后的评价结果。

本研究方法能在不需要参考图像的情况下,有效地评价图像质量的高低。通过建立采集反馈系统,可指导人脸采集环境的合理改善,从而获得符合标准的图像;根据人脸区域图像的质量评价结果,可辅助人脸图像的再处理,降低图像质量对人脸识别结果的影响,提高识别准确率。该方法是一种综合了客观和主观质量评价因素的比较完整的人脸图像质量评价方法。图2所示为加入图像质量评估系统

后人脸识别系统框图。

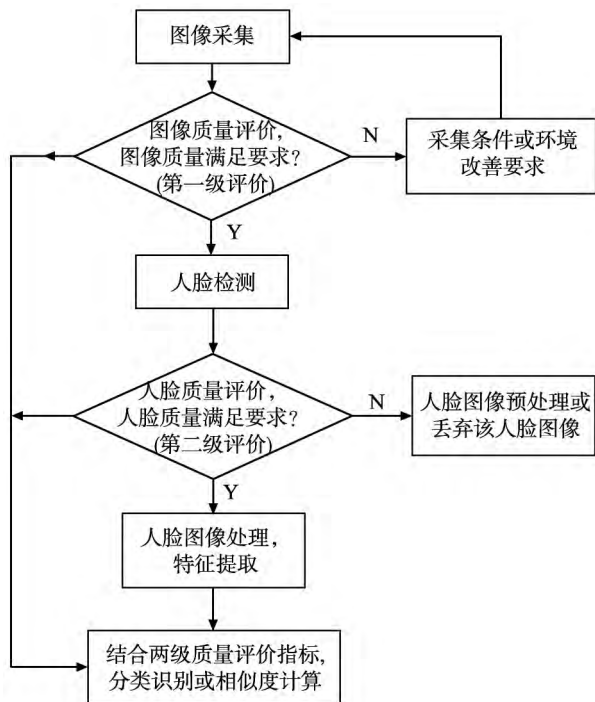


图2 结合质量评价指标的人脸识别系统框图

Fig. 2 The diagram of face recognition system combined with the quality evaluation indexes

2 基于子区域直方图的人脸图像对称度评价

人脸识别中光照变化和姿态变化给人脸识别系统性能带来的影响最为严重,本研究提出一种基于子区域直方图距离的方法,衡量人脸图像的对称度,能够有效评估由非对称光照和姿态变化给人脸图像质量带来的影响。

左右半边人脸的图像特征差异是人脸图像不对称的一个局部度量,当人脸图像严格对称,则左右半边人脸图像特征差异为零。另外,研究表明,在人脸识别过程中,人脸上半部分特征起到的作用大于人脸下半部分。所以,将人脸区域图像按 2×2 进行分块,把人脸图像分为左上、右上、左下和右下4个子区域;然后分别计算左上和右上子区域的局部直方图距离,左下和右下子区域的局部直方图距离;最后将两个直方图距离加权融合为一个距离作为衡量对称度的评价指标。具体算法描述:假设 $H_{m \times n}^{LU}$ 为左上人脸子区域直方图(列向量), $H_{m \times n}^{RU}$ 为右上人脸子区域直方图。其中 m 和 n 为2个子区域的窗口的长和宽,则直方图距离计算过程如下:

$$S_{LU} = \sum_{i=1}^{256} H_{m \times n}^{LU}(i), \quad (1)$$

$$S_{RU} = \sum_{i=1}^{256} H_{m \times n}^{RU}(i), \quad (2)$$

$$D_1 = \sqrt{S_{LU} \times S_{RU}}, \quad (3)$$

其中 S_{LU} 和 S_{RU} 分别为左上、右上两个子区域直方图序列所含元素的累加和, i 表示直方图序列中的第 i 个元素。

$$D_{Had} = \sqrt{H_{m \times n}^{LU} \circ H_{m \times n}^{RU}}, \quad (4)$$

$$D_2 = \sum_{i=1}^{256} D_{Had}(i), \quad (5)$$

其中 \circ 表示两个直方图序列的Hadamard乘积, $D_{Had}(i)$ 直方图序列Hadamard乘积中的第 i 个距离元素。将式(3)和(5)中计算得到的 D_1 和 D_2 带入式(6)中,得左上和右上人脸子区域的直方图距离:

$$D^U = 1 - \sqrt{(1 - D_2/D_1)}. \quad (6)$$

同理,可计算左下和右下人脸子区域的直方图 $H_{m \times n}^{LD}$ 、 $H_{m \times n}^{RD}$ 之间的距离 D^D ,最终得整幅人脸图像的直方图距离指标

$$Q_1 = \lambda D^U + (1 - \lambda) D^D, \quad (7)$$

其中 λ 为上半人脸图像直方图距离的加权系数,考虑到上半人脸在识别中起到更重要的作用,可以将取值设置为大于0.5,本研究中 λ 取0.6。

3 其他人脸图像质量评价指标

3.1 对比度指标

对比度是指图像中明暗区域最亮的白和最暗的黑之间不同亮度等级的测量,即一幅图像中灰度反差的大小。反差越大,从黑到白的渐变层次越多,从而色彩表现越丰富。对比度对视觉效果的影响非常关键,一般来说对比度越大,图像越清晰醒目;而对比度小,则整幅图像都灰蒙蒙的。

在人脸图像采集过程中由于受光不均而使图像偏亮或偏暗,会降低图像的对比度,不利于后续处理。图像对比度指标

$$Q_2 = \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{255}, \quad (8)$$

其中 Q_2 为归一化后的图像对比度指标, I_{\max} 表示最大灰度值, I_{\min} 表示最小灰度值。

3.2 适宜度指标

适宜的图像灰度是人们观察图像的基本条件,也是影响图像质量的重要因素,亮度过强或过弱都会影响图像质量,图像适宜度是与图像平均灰度分布相关的一项重要指标。

一般情况下,图像平均灰度应在 I_{\min} 与 I_{\max} 中间的一个范围内。大量图像灰度分布的统计比较分析

表明,图像整体平均灰度位于 I_{\min} 与 I_{\max} 中间的 40% ~ 60% 较为适宜,此时图像灰度分布均匀,层次性好;而平均灰度位于小于 40% 的低端或大于 60% 的高端都将不同程度偏离理想分布。偏离理想分布越远,图像质量越差,对特征的准确提取影响越大。图像的灰度分布适宜度

$$Q_3 = \begin{cases} 0, & \text{if } I_{\max} = I_{\min}; \\ 2.5 \times \alpha, & \text{if } \alpha < 0.4; \\ 1, & \text{if } 0.4 \leq \alpha < 0.6; \\ 2.5 \times (1 - \alpha), & \text{if } 0.6 \leq \alpha. \end{cases} \quad (9)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0, & \text{if } I_{\max} = I_{\min}; \\ \frac{\bar{I} - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (10)$$

其中 \bar{I} 为图像的平均灰度值。

图像对比度和适宜度分别从灰度值的整体反差与层次分布两个角度,对采集的包含人脸的原始自然图像进行了质量评价分数的计算。较好地反映了采集环境的情况,质量指标的反馈信息有利于辅助采集到质量较好的图像。

3.3 人脸有效区域面积指标

由于图像采集设备获取的原始自然人脸图像包括前景图像和背景图像,前景图像(人脸区域图像)面积为有效面积,通常前景图像面积越大,含有的图像信息越多,图像质量越好。所以人脸有效区域面积指标定义为人脸区域图像面积占整幅原始自然人脸图像面积的比例。同时,考虑到人脸区域图像的比例不能过小,所以本研究通过设定面积阈值的方式,将部分人脸面积过小的图像筛选掉。具体计算公式如下:

$$Q_4 = \begin{cases} \frac{S_{\text{face}}}{S}, & \text{if } S_{\text{face}} < T; \\ \frac{2 \times S_{\text{face}}}{S}, & \text{if } T \leq S_{\text{face}} < \frac{1}{2}S; \\ 1, & \text{if } S_{\text{face}} \geq \frac{1}{2}S. \end{cases} \quad (11)$$

其中 T 为设定的人脸有效区域最小面积,可根据实际情况进行设定; S_{face} 表示人脸有效区域面积(有效区域总像素数); S 表示包含人脸图像的原始自然图像面积(原图像总像素数)。

3.4 清晰度指标

清晰度是主观上人们对图像质量的感受,具体定义是指图像中细节纹理及边界的清晰程度。研究表明,图像一般是由边缘区域、平滑区域和纹理区域 3 部分组成,与平滑区域和纹理区域相比,边缘在图像识别中的作用更明显。因此,在计算图像清晰度指

标时,要特别重视图像中边缘清晰程度对图像清晰度的影响。而本研究针对人脸区域图像采用 Canny 算子进行边缘检测^[23-24],再对检测结果的边缘清晰度和灰度分布情况进行分析,综合这两方面的因素获得图像清晰度指标。

人脸边缘检测结果中边缘点占整幅人脸图像的比例一般分布在一定的范围内,比例过小说明图像边缘不突出,边缘比例太大说明图像中可能包含较多的噪声。同样,通过大量人脸图像边缘点数目统计分析得出,一般质量好的图像边缘点数目约占图像的 10% ~ 30%,小于 10% 则表示图像边缘较弱,大于 30% 则表示图像边缘出现噪声干扰的可能性较大,尤其是当边缘比例大于 50% 时,图像质量极差。则图像边缘清晰度指标为

$$\rho = \begin{cases} 10\alpha, & \text{if } \alpha \leq 0.1; \\ 1, & \text{if } 0.1 < \alpha \leq 0.3; \\ 2.5 - 5\alpha, & \text{if } 0.3 < \alpha \leq 0.5; \\ 0, & \text{if } \alpha > 0.5. \end{cases} \quad (12)$$

其中 α 是边缘点数目占整幅人脸图像的比例。

除图像边缘清晰度外,本研究根据人脸边缘检测结果 I_{canny} 的灰度分布情况,提出一种基于灰度统计信息的清晰度指标

$$\eta = \frac{\bar{I}_{\text{canny}}}{100}, \quad (13)$$

其中 \bar{I}_{canny} 表示 Canny 边缘检测后人脸图像灰度的

平均值,即 $\bar{I}_{\text{canny}} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{M \times N} I_{\text{canny}}$ 。

最后,将 ρ 和 η 两个指标进行融合,可得最终的人脸有效区域清晰度指标

$$Q_5 = 0.5(\rho + \eta). \quad (14)$$

4 两级质量评价指标的融合

本研究提出的第一级人脸图像质量评价方法,主要针对由于采集环境或摄像机因素引起的原始自然人脸图像对比度低、适宜度低等因素做出正确评估。采用的指标为 Q_2 和 Q_3 。

人脸图像的第二级质量评价是指针对人脸检测获取的人脸区域图像进行的质量分数计算。在这一级评价中主要从人脸对称度、人脸有效区域面积、清晰度、适宜度 4 个指标着手综合评价人脸区域图像。指标具体为 Q_1 、 Q_4 、 Q_5 和人脸区域图像的适宜度指标 Q_6 , Q_6 与适宜度 Q_3 的计算公式相同。

以上内容分别从客观和主观两个方面分析了影响人脸图像质量的因素,并分别提出了不同的人脸

质量评价指标,为了获得一个唯一的整体质量分数,所有影响人脸图像质量的因素都要考虑,各个因素的质量评价指标可以通过不同的方式结合在一起,组成最终的总体质量分数。基于本研究提出的融合二级评价指标人脸图像质量评价算法,本研究提出一种总体质量评价指标计算方法:

$$Q_0 = \frac{(Q_2 + Q_3)}{2}, \quad (15)$$

$$Q_f = \frac{(Q_1 + Q_4 + Q_5 + Q_6)}{4}, \quad (16)$$

$$Q = \begin{cases} Q_f, & \text{if } Q_f > Q_0 > 0.5; \\ \frac{1}{2}(Q_f + Q_0), & \text{if } Q_0 \geq Q_f > 0.5; \\ 0, & \text{if } Q_0 \leq 0.5 \text{ or } Q_f \leq 0.5. \end{cases} \quad (15)$$

结合最终质量评价指标,本研究最终的评价结果分为以下3类:

(1) 当图像质量评价指标较高,且 $Q_f > Q_0 > 0.5$,此时的人脸识别结果将非常可靠;

(2) 当图像质量评价指标一般,且 $Q_0 \geq Q_f > 0.5$,表明采集到的原始自然图像质量较好,但人脸

区域图像的质量一般,此时的人脸识别结果将受到一定影响;

(3) 当最终图像质量评价指标 $Q = 0$,表明原始自然图像或人脸区域图像质量都非常不好,此时所得的人脸识别结果不可靠,系统应当提示改善图像采集环境。

5 试验与分析

为验证本研究提出的融合二级评价指标的人脸图像质量评价算法的有效性,本研究采用 CAS-PEAL 人脸库^[25]和实验室自建人脸库的图像分别进行了试验。试验一采用 CAS-PEAL 人脸库,试验中主要选取了标准人脸(1幅)、不同光照(3幅)、不同饰物(2幅)、不同姿态(3幅)的人脸,图像大小为 $360 \times 480 \times 256$ 灰度级,图像如图3所示。经过人脸检测后的结果如图4所示。表1所示为人脸图像质量评价指标及结果。

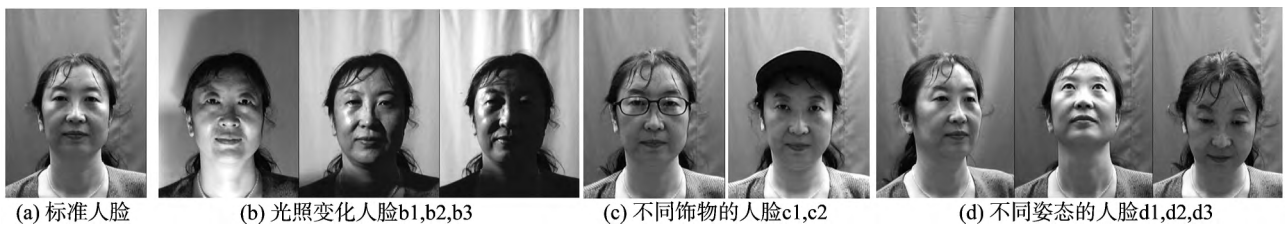


图3 CAS-PEAL 人脸库中选取的部分图像
Fig. 3 Some face image in CAS-PEAL database

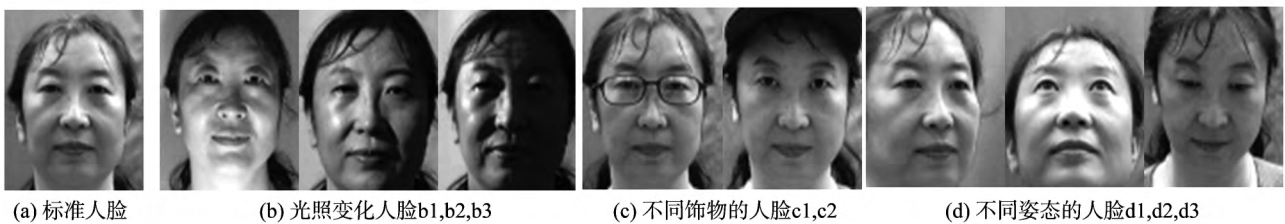


图4 人脸检测获取的人脸区域图像
Fig. 4 Face region image after face detection

表1 人脸图像质量评价指标及评价结果
Table 1 Face image quality evaluation index and evaluation results

人脸	Q_2	Q_3	Q_4	Q_1	Q_5	Q_6	Q_0	Q_f	Q	评价结果
a	0.976 6	1	0.746 5	0.770 5	0.940 4	1	0.988 3	0.864 4	0.926 4	优
b1	0.980 2	1	0.706 4	0.740 9	0.901 5	1	0.990 1	0.837 2	0.913 6	良
b2	0.953 1	1	0.672 2	0.528 5	0.890 4	0.936 2	0.976 5	0.756 8	0.866 6	差
b3	0.950 3	0.941 5	0.694 8	0.405 9	0.684 5	0.751 8	0.945 9	0.634 2	0.790 1	极差
c1	0.970 6	1	0.802 2	0.750 9	0.965 6	1	0.985 3	0.879 6	0.932 4	优
c2	0.963 8	1	0.678 8	0.801 2	0.816 5	0.892 1	0.981 9	0.797 1	0.889 5	中
d1	0.970 6	1	0.583 7	0.726 4	0.880 2	1	0.985 3	0.797 6	0.891 4	中
d2	0.980 2	1	0.548 2	0.772 9	0.902 4	1	0.990 1	0.805 9	0.898 0	中
d3	0.970 6	1	0.706 4	0.759 4	0.862 2	1	0.985 3	0.832 0	0.908 6	良

本研究基于获得的最终评价指标,给出了图像质量等级的划分方法:当 $Q \geq 0.92$ 时,判定人脸图像质量为优;当 $0.9 \leq Q < 0.92$ 时,判定人脸图像质量为良;当 $0.85 \leq Q < 0.90$ 时,判定人脸图像质量为中;当 $0.80 \leq Q < 0.85$ 时,判定人脸图像质量为差;当 $Q < 0.8$ 时,判定人脸图像质量为极差。

由试验结果可知,本研究提出的人脸图像质量评价算法能有效地评价原始自然人脸图像和人脸有效区域图像,并给出了最终每幅人脸图像的综合评分,从而能根据最终评价指标判断出人脸图像质量。显然,试验得出的评价结果与人的视觉感受基本一致,说明本研究提出的方法具有较好的可靠性和准确性,能较为准确地给出每幅人脸图像的质量评价指标,有效地将人的主观感受用数学方法表达出来。

当然,本研究提出的方法在评价带有眼镜干扰

的c1人脸图像时,出现了失误。通过分析得出如下结论:(1)从人的视觉感受角度来看,c1人脸图像的质量确实比较高,符合质量评价指标与评价结果;(2)对于眼镜带来的弱干扰问题,本研究提出的质量评价方法的性能并不理想,有待进一步研究克服眼镜弱干扰的质量评价指标。

为更好说明所提人脸对称度计算方法和融合二级评价指标的人脸图像质量评价策略的可靠性,本研究基于CAS-PEAL人数据集,与文献[10]中人脸评价方法进行了对比试验。由于与文献中的指标数量、指标计算方法以及指标的数量级存在较多的不同之处,所以单个指标的对比意义不大,因此表2的试验结果展示中只给出了按照文献中方法得出的最终质量评价结果。

表2 不同人脸图像质量评价结果的整体趋势对比

Table 2 The overall trend comparison of face image quality results based on different evaluation methods

人脸	a	b1	b2	b3	c1	c2	d1	d2	d3
文献[10]	85.53	84.71	84.20	81.65	85.73	85.62	84.23	81.97	83.86
本研究方法	优	良	差	极差	优	中	中	中	良

显然,文献[10]的质量评价结果整体趋势与本研究方法相似。但是文献[10]方法的区分度较低,而且存在个别质量评价结果与人眼主观评价不一致的情况,例如图像b2的质量较差,但得到的评价分数却较高。与本研究方法相比,本研究所得到的评

价结论更符合实际情况。

试验二采用本实验室自建人脸库中的图像,大小为 320×240 256灰度级,如图5所示。表3给出了本研究方法与文献[7]评价方法的人脸图像质量评价结果对比。

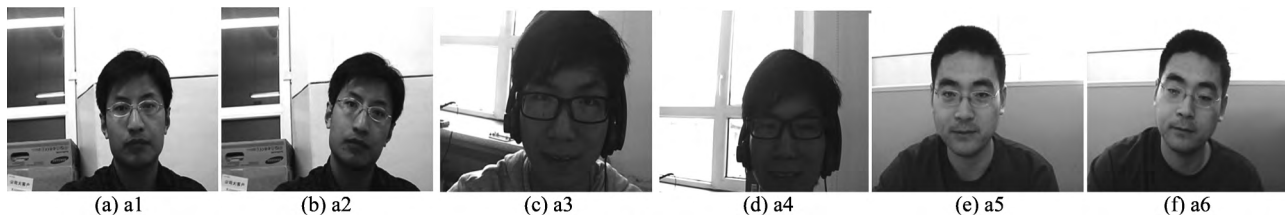


图5 自建人脸库中的图像

Fig. 5 Some face images in the self-made face database

表3 不同人脸图像质量评价结果的整体趋势对比

Table 3 The overall trend comparison of face image quality results based on different evaluation methods

人脸	a1	a2	a3	a4	a5	a6
文献[10]	83.87	82.97	82.32	81.98	85.42	84.65
本研究方法	优	良	良	中	优	良

试验结果表明,文献[10]所采用的评价方法更注重对整幅图像清晰度、对比度和明亮度的评价,而缺乏对人脸有效区域图像的评价,所以对图像a6的评价分数较高,但并没有考虑人脸有效区域图像的姿态变化。而对于a1和a2两幅图像的评价则因图像整体清晰度、明亮度不高导致结果较低,但a1中的人脸有效区域图像质量属于优质范围。所以文献[10]的评价方忽视了对人脸有效区域图像的评价,

导致评价结果与实际质量有一定差距。而本研究采用的融合二级评价指标的人脸图像质量评价方法能较好地反映整幅图像和人脸有效区域图像的质量信息,评价结果可靠性较高。

6 结语

本研究提出一种融合二级评价指标的人脸图像质量评价方法。分别针对影响图像质量的客观和主观因素采用不同的指标计算方法,并将各个指标的评价结果进行综合,得出最终评价结果。除采用已有图像对比度、适宜度指标外,本研究进一步提出了针对人脸区域图像的有效区域面积指标、对称度指

标和清晰度指标计算方法。试验结果表明,本研究提出的融合二级评价指标的策略和几种指标计算方法是准确可靠的,能较好地将人对图像的视觉感受表达出来,是一种有效的人脸图像质量评价方法。

参考文献:

- [1] LI B, CHANG H, SHAN S, et al. Low-resolution face recognition via coupled locality preserving mappings [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(1): 20-23.
- [2] ZOU G F, JIANG S M, ZHANG Y Y, et al. A novel coupled metric learning method and its application in degraded face recognition [C]//The 8th Chinese Conference on Biometric Recognition. Heidelberg, Germany: Springer, 2013: 152-161.
- [3] ZOU G F, ZHANG Y Y, JIANG S M, et al. An improved metric learning approach for degraded face recognition [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014: 1-10.
- [4] GAO X, LU W, TAO D, et al. Image quality assessment based on multi-scale geometric analysis [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(7): 1409-1423.
- [5] 梁敏瑜, 孙权森. 基于结构特征的图像质量评价模型 [J]. 山东大学学报(工学版), 2012, 42(3): 52-56.
LIANG Minyu, SUN Quansen. An image quality assessment model based on structure feature [J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2012, 42(3): 52-56.
- [6] 任玉玲, 路文, 徐红强, 等. 一种基于 Shearlet 变换的图像质量客观评价方法 [J]. 山东大学学报(工学版), 2015, 45(3): 15-21.
REN Yuling, LU Wen, XU Hongqiang, et al. An image quality assessment method based on Shearlet transform [J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2015, 45(3): 15-21.
- [7] DAYRON R R, HEYDI M V, EDEL G R. An illumination quality measure for face recognition [C]//2010 International Conference on Pattern Recognition (ICPR2010). Istanbul, Turkey: IEEE, 2010: 1477-1480.
- [8] AYMAN A, MARY A H, THIRIMACHOS B. Quality metrics for practical face recognition [C]//2012 International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2012). Tsukuba, Japan: IEEE, 2012: 3103-3107.
- [9] JONATHON PHILLIPS P, ROSS BEVERIDGE J, David Bolme, et al. On the existence of face quality measures [C]//IEEE 6th International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems. Washington, United States: IEEE, 2013: 1-8.
- [10] 胡杨庆, 童卫清. 人脸图像质量评价法 [J]. 现代计算机, 2007(12): 43-45.
- HU yangqing, TONG weiqing. Assessment of human-face image quality [J]. Modern Computer, 2007(12): 43-45.
- [11] 闫日亮, 张会林, 黄金钰. 基于信息熵和 Harris 算法的人脸图像质量评价 [J]. 计算机安全, 2011(9): 11-12.
YAN Riliang, ZHANG Huilin, HUANG Jinyu. Based on the information entropy and harris algorithm of image quality assessment [J]. Computer Security, 2011(9): 11-12.
- [12] 高修峰, 张培仁, 李子青. 人脸图像质量评估标准 [J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(1): 95-99.
GAO Xiufeng, ZHANG Peiren, LI Ziqing. Standardization of face image sample quality [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2009, 30(1): 95-99.
- [13] 高修峰. 人脸图像质量评估标准方法研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
GAO Xiufeng. The research on face image quality assessment [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2008.
- [14] 杨飞, 苏剑波. 一种基于倒谱的人脸图像清晰度评价方法 [J]. 光电子. 激光, 2009, 20(10): 1357-1360.
YANG Fei, SU Jianbo. A cestrum-based clarity assessment method for face images [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2009, 20(10): 1357-1360.
- [15] LU Wen, GAO Xinbo, TAO Dacheng, et al. A wavelet-based image quality assessment method [J]. Journal of Wavelets, Multiresolution, and Information Processing, 2008, 6(4): 541-551.
- [16] 肖宾杰. 基于图像质量加权的 D-S 证据理论多生物特征融合识别 [J]. 计算机应用, 2012, 32(1): 264-268.
XIAO Binjie. Multi-biometric feature fusion identification based on D-S evident theory of image quality with different weights [J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32(1): 264-268.
- [17] 吴限, 刘崎峰. 人脸检测建模源照片筛选方法 [J]. 应用科技, 2015, 42(1): 33-35.
WU Xian, LIU Qifeng. A method of selecting source data of picture in the modeling of face detection [J]. Applied Science and Technology, 2015, 42(1): 33-35.
- [18] 高新波, 路文. 视觉信息质量评价方法 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.
- [19] 李奇, 冯华君, 徐之海, 等. 数字图像清晰度评价函数研究 [J]. 光子学报, 2002, 31(6): 736-738.
LI Qi, FENG Huajun, XU Zhihai, et al. Research on measurement function of digital image definition [J]. Acta Photonica Sinica, 2002, 31(6): 736-738.
- [20] 王鸿南, 钟文, 汪静, 等. 图像清晰度评价方法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 828-831.
WANG Hongnan, ZHONG Wen, WANG Jing, et al.

- Research of measurement for digital image definition [J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(7): 828-831.
- [21] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [22] 唐文剑. 正面人脸图像质量评价方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学 2012.
TANG Wenjian. Frontal face image quality assessment [D]. Xi'an: Xidian University, 2012.
- [23] 章毓晋. 图像处理基础教程[M]. 北京: 电子工业出版社 2012.
- [24] 吕萌, 苏红旗, 刘启春, 等. 一种新的自适应边缘提取微分算子[J]. 数据采集与处理, 2011, 26(1): 106-111.
LÜ Meng, SU Hongqi, LIU Qichun, et al. New adaptive differential operator for edge detection [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2011, 26(1): 106-111.
- [25] 中国科学院计算机技术研究所. CAS-PEAL-R1 人脸库 [EB/OL]. (2015-01-20) [2015-03-20]. http://www.ict.ac.cn/jszy/jsxk_lxk/jsxk/200707/t20070706_2179-538.html.
- (编辑: 胡春霞)

(上接第5页)

- [9] 赵加敏, 冯爱民, 刘学军. 局部密度嵌入的结构单类支持向量机[J]. 山东大学学报(工学版), 2012, 42(4): 14-18.
ZHAO Jiamin, FENG Aimin, LIU Xuejun. A new structured one-class support vector machine with local density embedding [J]. Journal of Shandong University(Engineering Science), 2012, 42(4): 14-18.
- [10] 施珺, 朱敏. 一种基于灰色系统和支持向量机的预测优化模型[J]. 山东大学学报(工学版), 2012, 42(5): 7-11.
SHI Jun, ZHU Min. An optimization model for forecasting based on grey system and support vector machine [J]. Journal of Shandong University(Engineering Science), 2012, 42(5): 7-11.
- [11] 王雪松, 程玉虎, 郝名林. 一种支持向量机参数选择的改进分布估计算法[J]. 山东大学学报(工学版), 2009, 39(3): 7-10.
WANG Xuesong, CHENG Yuhu, HAO Minglin. Parameters selection of a support vector machine using an improved estimation of the distribution algorithm [J]. Journal of Shandong University(Engineering Science), 2009, 39(3): 7-10.
- [12] HUANG Guangbin, LI Mingbin, CHEN Lei, et al. Incremental extreme learning machine with fully complex hidden nodes [J]. Neurocomputing, 2008, 71(4-6): 576-583.
- [13] LIANG Nanning, HUANG Guangbin, SARATCHANDRAN P, et al. A fast and accurate online sequential learning algorithm for feedforward networks [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2006, 17(6): 1411-1423.
- [14] MICHE Y, SORJAMA A, BAS P, et al. OP-ELM: Optimally pruned extreme learning machine [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2010, 21(1): 158-162.
- [15] HUANG Guangbin, SIEW C K. Extreme Learning Machine: RBF Network Case [C]//Proceedings of Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. Kunming, China: CARV, 2004: 1029-1036.
- [16] ZHAI Junhai, XU Hongyu, WANG Xizhao. Dynamic ensemble extreme learning machine based on sample entropy [J]. Soft Computing September, 2012, 16(9): 1493-1502.
- [17] BADOIU M, CLARKSON K L. Optimal core-sets for balls [J]. Computational Geometry, 2008, 40(1): 14-22.
- [18] KUMAR P, MITCHELL J, YILDIRIM A. Approximate minimum enclosing balls in high dimensions using core-sets [J]. ACM Journal of Experimental Algorithmics, 2003(8): 1-29.
- [19] TSANG I W, KWOK J T, CHEUNG P M. Core vector machines: Fast SVM training on very large data sets [J]. Journal of Machine Learning Research, 2005(6): 363-392.
- [20] FRANK A, ASUNCION A. UCI Machine Learning Repository [EB/OL] [2013-10-05]. <http://archive.ics.uci.edu/ml>.

(编辑: 陈斌)