

8-13-2020

## Aesthetic Assessment for Digital Portrait Photos

Zeen Tao

*School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650504, China;*

Yuanyuan Pu

*School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650504, China;*

Xu Dan

*School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650504, China;*

Yiwei Liu

*School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650504, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Aesthetic Assessment for Digital Portrait Photos

### Abstract

**Abstract:** Computational aesthetic evaluation is a challenging research. With the widespread use of digital products, it needs to improve the intelligence of digital products. How are these photos judged good or bad? The traditional photo aesthetic quality evaluation mainly is done based on subjective judgment or experts or the photographer's understanding for beauty. It is not only slow, but also with highly subjective. *The results of face detect and eye detect were used to calculate visual balance of digital portrait based on face proportion and other features for aesthetic assessment of digital portrait photo were extracted too. The computer aesthetic score were compared with the subjective evaluation.* The results show that, although the computer aesthetic score are different from the subjective evaluation, the computer aesthetic assessment has clear and objective evaluation criteria.

### Keywords

computational aesthetics, aesthetic quality assessment, photo structure, face detection, human eye opening

### Recommended Citation

Tao Zeen, Pu Yuanyuan, Xu Dan, Liu Yiwei. Aesthetic Assessment for Digital Portrait Photos[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(10): 2298-2303.

# 数码人像照片美感评价研究

陶则恩, 普园媛, 徐丹, 刘屹位

(云南大学信息学院, 昆明 650504)

**摘要:** 计算美感评价是一个具有挑战性的研究方向, 随着数码产品广泛使用, 人们对数码产品的智能化需求提高, 数码照片的数量呈爆炸式增长, 怎样判断这些照片的好坏呢? 传统的照片美感评价主要靠专家或摄影者凭借自己对美的理解进行主观判断, 不仅速度慢, 还带有很强的主观性。主要通过人脸、人眼检测, 提取了数码人像的人脸比例、视觉平衡等特征, 对数码人像照片美感进行评价, 并与主观评价获取实验进行了比较分析。实验结果表明虽然计算美感评价与主观评价有些差异, 但计算美感评价指标明确, 具有一定的客观性。

**关键词:** 计算美学; 美感评价; 照片结构; 人脸检测; 人眼开度

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2016)10-2298-06

## Aesthetic Assessment for Digital Portrait Photos

Tao Zeen, Pu Yuanyuan, Xu Dan, Liu Yiwei

(School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650504, China)

**Abstract:** Computational aesthetic evaluation is a challenging research. With the widespread use of digital products, it needs to improve the intelligence of digital products. How are these photos judged good or bad? The traditional photo aesthetic quality evaluation mainly is done based on subjective judgment or experts or the photographer's understanding for beauty. It is not only slow, but also with highly subjective. The results of face detect and eye detect were used to calculate visual balance of digital portrait based on face proportion and other features for aesthetic assessment of digital portrait photo were extracted too. The computer aesthetic score were compared with the subjective evaluation. The results show that, although the computer aesthetic score are different from the subjective evaluation, the computer aesthetic assessment has clear and objective evaluation criteria.

**Keywords:** computational aesthetics; aesthetic quality assessment; photo structure; face detection; human eye opening

## 引言

近年来, 计算美感评价已然成为一个热点问

题, Jun Shao 等人<sup>[1]</sup>将照片特征分为局部特征和全局特征, 并使用 Gabor 小波变换和色调直方图分析, 结合两种特征对照片进行美感评价; S.Battiato 等人<sup>[2]</sup>, 通过人脸检测, 并使用照片中人脸之间的组成结构、颜色和面部表情对数码人像进行审美打分; Fabrizio Ravi 等人<sup>[3]</sup>在图像预处理中, 使用 K-均值聚类提取眼睛轮廓, 结合其他局部特征对照片进行美感评价; Subhabrata B 等人<sup>[4]</sup>提出了一种能够对图片的美感品质评价和增强的方法;



收稿日期: 2016-05-30 修回日期: 2016-07-14;  
基金项目: 国家自然科学基金(61163019, 61271361, 61462093), 云南省教育厅产业化项目(2016CYH03), 云南大学中青年骨干教师项目(XT412003);  
作者简介: 陶则恩(1989-), 男, 云南宣威, 硕士生, 研究方向为数字图像处理、视觉艺术理解、计算美学; 普园媛(通讯作者 1972-), 女, 云南晋宁, 副教授, 研究方向为非真实感绘制、视觉艺术理解、模式识别。

<http://www.china-simulation.com>

• 2298 •

CongcongLi 等人<sup>[5]</sup>把影响照片美感的因素分为三类, 包括技术特征、感知特征和社会关系特征; Huang Xiao 等人<sup>[6]</sup>构建了一个用于对照片美感度进行在线评级的系统 OPARS, 用户对照片评价后的结果用于动态优化图片库中该张照片的原有评判; Shehroz S.Khan 等人<sup>[7]</sup>提出了一种使用少量特征对肖像照片进行评价的方法。他们分别对 500 幅肖像照片提取 7 种特征值, 然后使用了 5 种分类器进行训练和分类。Chu Wei Ta 等人<sup>[8]</sup>研究了照片尺寸对其美感的影响程度, 他们基于照片内容和特征建立了一组回归模型, 并在特定的显示尺寸内预测照片的美感等级。Miriam Redi 等人<sup>[9]</sup>基于肖像摄影文化设计了包括整体清晰度、HSV 平衡等 36 种特征, 对肖像照片进行训练和分类。本文主要对数码人像照片进行美感评价, 并把照片分为单人像和多人像进行分析, 提出数码人像照片的视觉平衡、人脸比例、人眼开度和照片的亲密度并用于照片美感评价打分, 具有一定的客观性。

## 1 美感评价特征的提取

人像照片美感与很多因素有关, 本文提取了四种特征, 其中视觉平衡用来描述照片的结构布局, 代表着照片的视觉协调性, 人脸比例代表了人像在照片中的主体地位, 人眼开度代表着人像的精神和状态, 影响人像的视觉美感, 亲密度代表着人像间的和谐程度, 同样影响着照片的整体美感。

### 1.1 照片的视觉平衡

视觉平衡是观察客体的视觉中心在人们按一定的原则给定的地位上, 达到各要素关系合理、协调, 具有平衡感的视觉效果。

在人像照片中, 视觉平衡好坏取决于人脸在照片中的位置, 所以本文首先对照片中的人脸进行检测。本文采用基于 SMQT(Successive Mean Quantization Transform)<sup>[10]</sup>和 SNOW(Spare Network of Winnows)的人脸检测的方法<sup>[11]</sup>检测人脸, 部分照片人脸检测效果图如图 1 所示。



图 1 人像照片人脸检测图

衡量单人像和多人像视觉平衡的标准不一样, 对于单人像照片来说, 脸部中心点距离九宫格上三分线的中心点距离越近, 视觉平衡越好。设  $M$ 、 $N$  分别为照片长和宽,  $(x, y)$  为脸的中心点坐标, 单人像视觉平衡  $V_b$  的函数式表示为:

$$V_b = \frac{\sqrt{\left(\frac{M}{2}\right)^2 + \left(\frac{2N}{3}\right)^2} - \sqrt{\left(x - \frac{M}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{2N}{3}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{M}{2}\right)^2 + \left(\frac{2N}{3}\right)^2}} \quad (1)$$

对于多人像照片来说, 由于照片包含多张人脸, 使用九宫格的四个交叉点判断多人像视觉平衡更为准确。由于照片中心与交叉点的距离大于 0 小于对角线的  $1/3$ , 所以多人像的视觉平衡用中心点、交叉点的距离和对角线  $1/3$  长度来表示。首先求出照片尺寸对角线的  $1/3$  为:  $\sqrt{M^2 + N^2} / 3$ , 然后求出第  $i$  张人脸中心点距离九宫格四个交叉点的最小距离  $L_i$ , 则第  $i$  张人脸的视觉平衡得分函数可表示为:

$$V_{bi} = \frac{\sqrt{M^2 + N^2} / 3 - L_i}{\sqrt{M^2 + N^2} / 3} \quad (2)$$

### 1.2 照片的人脸比例

对于人像美感来说, 人脸比例大小代表着照片主体的比例, 适宜的比例大小给人以美感。设  $F_{r_i}$  ( $i=1, 2, \dots, N_f$ ) 代表第  $i$  张人脸脸部面积占数码人像照片的比例大小, 其中  $N_f$  为照片中人脸的数量。设  $a_i$  和  $b_i$  分别为第  $i$  张人脸脸部的长和宽, 则  $F_{r_i}$  表示为:

$$F_{r_i} = \frac{a_i \times b_i}{M \times N} \quad (3)$$

根据九宫格的布局审美特点, 人脸大小占照片尺寸的  $1/36$  时, 第  $i$  张人像比例的美感最好。论文通过人脸比例美感函数描述人脸比例与照片美感

之间的关系。根据对照片的观察, 当  $Fr_i < 1/36$  时, 人脸比例美感函数随着  $Fr_i$  呈线性增长, 当  $Fr_i$  大于  $1/36$  时, 人脸比例美感函数随  $Fr_i$  呈线性降低, 由于人脸面积永远小于等于照片面积, 所以  $Fr_i$  小于等于 1, 为此可得人脸比例美感函数为:

$$S(Fr_i) = \begin{cases} 36 \times Fr_i, Fr_i < \frac{1}{36} \\ 1 - \frac{36}{35} \times \left( Fr_i - \frac{1}{36} \right), \frac{1}{36} \leq Fr_i \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

### 1.3 照片的人眼开度

在照片美感评价中, 明亮有神的大眼睛让人感觉有精神、状态好, 给人美感, 论文用眼睛开度来表现这种感觉。首先进行人眼检测, 人眼检测方法有基于 Hough 变换法<sup>[12]</sup>等许多方法, 本文在使用 K-means 聚类算法<sup>[13]</sup>对人眼进行检测, 部分照片的人眼检测结果如图 2 所示。



图 2 部分照片人眼检测图

由于本文用眼睛大小与脸部大小比例来描述眼睛开度, 所以对于眼睛开度来说, 单人像和多人像照片的评价方法一样, 人眼开度函数式表示为:

$$Eo_i = \frac{e_{Lx} \times e_{Ly} + e_{Rx} \times e_{Ry}}{(a_i \times b_i)} \quad (5)$$

式中:  $e_{Lx}, e_{Ly}, e_{Rx}, e_{Ry}$  分别为左眼、右眼的长和宽,  $a_i$  和  $b_i$  分别为第  $i$  张人脸的长和宽, 其中  $(i=1, 2, \dots, N_f)$ 。Mikael Nilsson 等人在文献[6]中通过实验提出人眼与脸部比例为二十分之一时美感较好, 然而, 我们也知道, 不是眼睛越大, 美感越好。论文用人眼开度美感函数描述人眼开度与照片美感之间的关系。当  $Eo_i < 1/20$  时, 美感函数随着  $Eo_i$  呈线性增加, 当  $Eo_i > 1/20$  时, 美感函数随  $Eo_i$  呈线性降低, 由此得眼睛开度的美感函数表达式为:

$$S(Eo_i) = \begin{cases} 20 \times Eo_i, & Eo_i < \frac{1}{20} \\ 1 - \frac{20}{19} \times \left( Eo_i - \frac{1}{20} \right), & \frac{1}{20} \leq Eo_i \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

### 1.4 照片的亲密度

多张人像美感评价涉及人像之间的亲密度, 人像间距离越近, 亲密度越好。设人像脸部宽度之和为  $Sum$ , 头像间相距最远的两张脸的中心距离为  $D$ , 则亲密度函数为:

$$C_d = \frac{Sum}{D} \quad (7)$$

对于多张人像之间来说, 当两张脸的距离无限大, 而人脸宽度无限小时,  $C_d$  最小接近于 0, 当两张脸之间紧凑无缝隙时,  $C_d$  值最大接近于 2。根据对照片的观察, 本文设置当  $C_d > 0.8$  时, 亲密度美感函数与  $C_d$  相等, 当  $C_d > 0.8$  时, 呈递增趋势增加直到达到最大值 1 为止, 由此可得亲密度函数式为:

$$S(C_d) = \begin{cases} C_d & C_d \leq 0.8 \\ \left( \frac{1}{6} \right) \times \left( C_d - \frac{4}{5} \right) + \frac{4}{5}, & 0.8 < C_d < 2 \end{cases} \quad (8)$$

## 2 实验和结果分析

为了能与计算美感评价进行对比, 我们首先选取 100 张数码人像照片, 这些照片都来源于 Luo W 等人从照片分享网站或从自己拍摄的照片中选取出来的一个有照片美感品质分类的照片库, 此照片库共有 17 613 张照片, 我们选取了其中的 100 张人像照片做照片美感评价, 其中单人像照片 70 张, 多人像照片 30 张。

### 2.1 人像照片美感的主观评价

为了使主观评价获得一个合理的打分, 实验把照片分给十个不同的人进行打分评价, 打分满分为 100 分计算, 使得每张照片都可以获得 10 个不同的打分, 然后去掉一个最高分和一个最低分, 最后将 10 个不同的打分, 取平均分, 作为获得照片的最终主观评价得分。



## 2.2 计算美感评价实验

对于单人像照片, 根据数码人像美感评价的影响因素, 论文设计单人像美感评价函数为:

$$S_{\text{single}} = \alpha \times V_b + \beta \times S(Fr_i) + \gamma \times S(Eo_i) \quad (9)$$

式中:  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  分别为对美感评价的影响因子。令照片美感评价总分为 100 分, 根据实验对比, 对美感的影响因子大小分别为视觉平衡、脸部比例和眼睛开度, 所以本文中设  $\alpha = 50$ ,  $\beta = 30$ ,  $\gamma = 20$ 。部分单张人像数码照片美感评价结果如图 3 所示, 各张照片的各项美学评分值如表 1 所示。图中(a)和(b)的视觉平衡、脸部比例等都较好, 所以美感评分较高; (c)是脸部比例稍小影响整体得分; (d)的人脸比例得分较高, 但眼睛开合度小, 降低了整体得分; (e)脸部比例太大, 美感评分稍差; (f)的人脸比例得分低, 眼睛开合度也小, 所以分数较低。

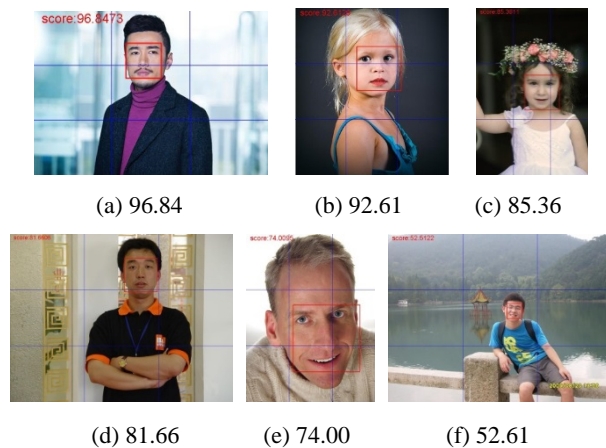


图 3 单张人像照片美感评价结果图

表 1 图 3 中照片的特征值

照片编号	$V_b$	$S(Fr_i)$	$S(Eo_i)$	$S_{\text{single}}$
(a)	0.949 2	0.995 8	0.967 8	96.843 1
(b)	0.936 7	0.950 5	0.986 5	92.610 2
(c)	0.753 8	0.961 8	0.940 7	85.361 1
(d)	0.844 0	0.998 7	0.474 9	81.660 6
(e)	0.683 7	0.991 9	0.291 1	74.005 2
(f)	0.838 4	0.210 7	0.213 6	52.612 2

对于多人像照片, 可以写出多张人像数码照片美感评价得分为:

$$S_{\text{more}} = \frac{1}{N_f} \sum_{i=1}^{N_f} (\alpha \times V_{bi} + \beta \times S(Fr_i) + \gamma \times S(Eo_i)) + \delta \times S(C_d) \quad (10)$$

式中:  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$  分别为对美感评价的影响因子。与单张数码人像美感评价类似, 照片美感满分为 100, 根据各个特征对照片美感影响的不同, 令  $\alpha = 45$ ,  $\beta = 25$ ,  $\delta = 15$ ,  $\gamma = 15$ , 通过实验验证, 系数设置较为合理。部分多张人像照片美感评价结果如图 4 所示。图中(a)和(b)各个特征较好, 分数较高, (d)人脸太小, (c)和(f)亲密度不好, (e)结构稍差。表 2 给出了亲密度得分值。



图 4 多张人像照片美感评价结果图

表 2 图 4 中照片的亲密度特征值

照片编号	$N_f$	$C_d$	$S(C_d)$	$S_{\text{more}}$
(a)	2	1.105 4	0.850 8	88.454 2
(b)	5	0.770 0	0.770 0	83.005 7
(c)	3	0.480 8	0.480 8	74.881 8
(d)	2	0.859 9	0.810 0	65.990 8
(e)	2	1.122 4	0.853 7	65.562 4
(f)	2	0.231 7	0.231 7	54.195 8

## 2.3 结果分析

论文把每张照片的主观评价与计算机美感评价得分绘制出来, 得到美感评价曲线图如图 5。其中左图为按主观评价升序排列结果比较图, 右图为按计算美感评价升序排列结果比较图。从左图中数据曲线的幅度看, 主观评价的分数主要集中在 65~85 之间, 分数数据比较集中, 计算美感的分数集中于

55~95 之间, 分数数据比较分散。综上所述做出如下分析: 从计算美感评分和主观评分之间的差值绝对值来看, 100 张照片中, 差值大于 10 的照片还有 17 张, 如果设差值小于 10 的为正常误差范围, 那么有 83% 的照片接近主观获取评价的分数。

右图是按照计算美感评价的标准升序排列结果图, 可分为三段进行分析:

第一段, 主观评价分数比计算美感评价分数高。主要有以下几个原因: 一是有的照片人像看上去很漂亮, 影响着人们的感官, 主观评价美感较好, 但由于头部比例太大或者眼睛受到遮挡检测不完整等因素的影响, 导致计算美感评价较差。如图 6(a) 所示, 主观评价为 73.25 分, 计算美感评价为 57.30 分; 二是有的照片计算机考虑的特征表现不太好, 比如结构不好、眼睛不大等, 计算美感差, 但照片从背景与人像的搭配整体看, 效果较好, 主观评价好, 如图 6(b) 所示, 主观评价分数为 66.87, 计算美感评价分为 52.51。

第二段, 主观评价与计算美感评价分数相近。计算美感评价在 70~80 之间, 而这些照片在人们看来有一些缺陷, 但一些方面的效果也不错, 美感评价的分数也在 70~80 之间, 如图 6(c) 和图 6(d) 所示, 主观评价分数分别为 77.75 和 73.62, 计算美感评价分数分别为 77.59 和 73.26。

第三段, 主观评价的分数低于计算美感评价的分数。有的照片从结构、人脸比例等方面看较好, 但却存在模糊不清晰等现象, 由于计算美感评价未考虑清晰度等特征, 导致主观获取分数不高, 而计算美感分数较高。如图 6(e), 主观评价为 67.87 分, 而计算美感评价为 79.30 分。另外有的照片计算机考虑的几个因素都很好, 从计算机的角度看接近于完美, 但是主观评价中考虑到人脸表情等方面的因素, 打分虽然高, 却与完美还有差距, 如图 6(f) 所示, 主观评价分数为 84.37, 计算美感评价分数为 96.84。

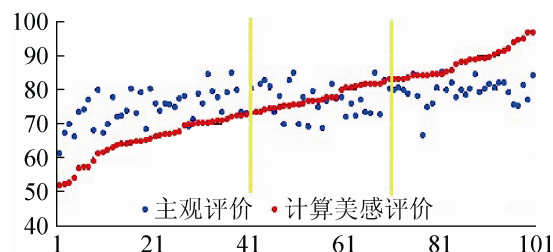
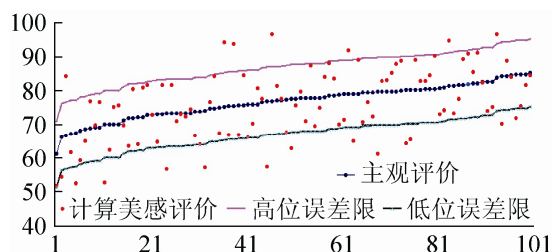


图 5 计算美感评价与主观获取结果比较

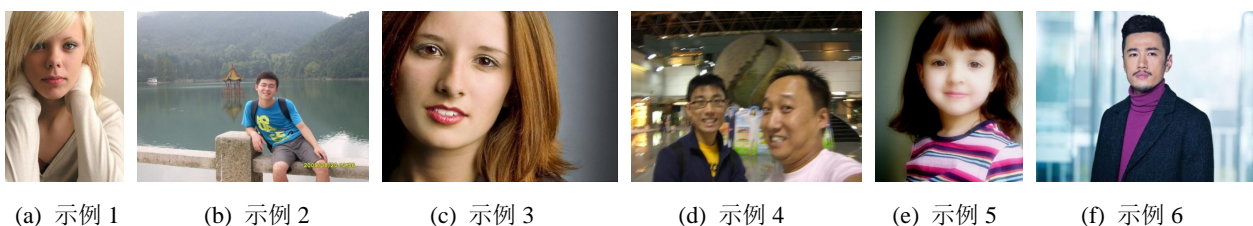


图 6 按计算美感评价升序排列结果比较例图

### 3 结论

本文把图像处理理论、计算美学理论、摄影理论有效的结合在一起, 提取了数码人像的四个特征, 把数码人像分为单人像数码照片和多人像数码

照片, 对数码人像照片进行了美感评价, 并与主观评价进行了对比。实验结果表明虽然计算美感评价与主观评价有些差异, 但计算美感评价克服了一些主观性, 指标明确, 提出的特征具有一定的代表性。本文的工作尚存在许多不足之处, 未来工作还有许

多突破点。论文对影响人像照片美感的因素考虑不够全面, 主要从照片结构、布局等方面提取特征。因此, 在后续的工作中还需要考虑照片的纹理、亮度等特征; 从美感评价的方法上讲, 可以采用机器学习、数据挖掘、深度学习等方法找到美感与照片数字特征之间的关系。

### 参考文献:

- [1] Shao J, Zhou Y. Photo Quality Assessment in Different Categories [J]. *Journal of Computational Information Systems* (S0887-4417), 2013, 9(8): 3209-3217.
- [2] Battiato S, Moltisanti M, Ravi F, et al. Aesthetic scoring of digital portraits for consumer applications [C]// *IS&T/SPIE Electronic Imaging*. USA: International Society for Optics and Photonics, 2013: 866008-866008-10.
- [3] Ravi F, Battiato S. A novel computational tool for aesthetic scoring of digital photography [C]// *Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision*. USA: Society for Imaging Science and Technology, 2012, 2012(1): 349-354.
- [4] Bhattacharya S, Sukthankar R, Shah M. A framework for photo-quality assessment and enhancement based on visual aesthetics [C]// *Proceedings of the international conference on Multimedia*. USA: ACM, 2010: 271-280.
- [5] Li C, Gallagher A, Loui A C, et al. Aesthetic quality assessment of consumer photos with faces [C]// *The 17<sup>th</sup> IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2010. USA: IEEE, 2010: 3221-3224.
- [6] Huang X, Han X, Eckert C. OPARS: objective photo aesthetics ranking system [M]// *Advances in Information Retrieval*. Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2013: 861-864.
- [7] Khan S S, Vogel D. Evaluating visual aesthetics in photographic portraiture [C]// *Proceedings of the Eighth Annual Symposium on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging*. Annecy, France: Eurographics Association, 2012: 55-62.
- [8] Chu W T, Chen Y K, Chen K T. Size does matter: how image size affects aesthetic perception [C]// *Proceedings of the 21st ACM international conference on Multimedia*. USA: ACM, 2013: 53-62.
- [9] Redi M, Rasiwasia N, Aggarwal G, et al. The beauty of capturing faces: Rating the quality of digital portraits [C]// *IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition*. USA: IEEE, 2015:1-8.
- [10] Nilsson M, Nordberg J, Claesson I. Face detection using local SMQT features and split up snow classifier [C]// *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2007, ICASSP 2007. USA: IEEE, 2007: II/589-II/592.
- [11] Nilsson M, Dahl M, Claesson I. The successive mean quantization transform [C]// *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal (ICASSP '05)*, USA: IEEE, 2005: IV/429-IV/432.
- [12] 吴冰, 陈步威, 李富贵, 等. 基于 Hough 变换的人眼检测方法研究 [J]. *河南理工大学学报(自然科学版)*, 2009, 27(5): 556-559.
- [13] Tzortzis G, Likas A. The minmax k-means clustering algorithm [J]. *Pattern Recognition* (S0031-3203), 2014, 47(7): 2505-2516.
- [14] Luo W, Wang X, Tang X. Content-based photo quality assessment [C]// *2011 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2011: 2206-2213.
- [15] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [16] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [17] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [18] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [19] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [20] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [21] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [22] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [23] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [24] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [25] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [26] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [27] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [28] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [29] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [30] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [31] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [32] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [33] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [34] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [35] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [36] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [37] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [38] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [39] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [40] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [41] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [42] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [43] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [44] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [45] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [46] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [47] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [48] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [49] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [50] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [51] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [52] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [53] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [54] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [55] 陶则恩, 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. 基于深度学习的数码人像照片美感评价研究 [C]// *2016 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. USA: IEEE, 2016: 2206-2213.
- [56] 牟国良, 张学军, 朱自成. 柴油机虚拟维修训练系统的设计 [J]. *机械制造与自动化*, 2015, 44(1):152-154.
- [57] 洪磊. BIM 技术在桥梁工程中的应用研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [58] 李俊松, 喻渝, 胖涛, 等. BIM 技术在铁路隧道工程全生命周期中的应用研究 [C]// *中国智慧城市建设技术研讨会*, 2013. 北京: 《中国建设信息》杂志社, 2013(22): 383-390.
- [59] Ishida T. Activities and Technologies in Digital City Kyoto [M]// *Digital Cities III. Information Technologies for Social Capital: Cross-cultural Perspectives*. Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2005:166-187.
- [60] Google Maps Shows Real-Time Traffic Data [EB/OL]. (2007-02-28) [2016-09-15]. <http://mashable.com/2012/03/29/google-maps-traffic-data/#ggiZ3Fjh8q7>.
- [61] 周慧娟, 贾利民, 李红艳, 等. 检测数据全息可视化系统设计及实现 [J]. *铁道运输与经济*, 2013, 35(1): 17-23.

(上接第 2297 页)