

多特征综合的图像模糊情感注释方法研究

李海芳 焦丽鹏 贺静

(太原理工大学计算机与软件学院, 太原 030024)

摘要 针对解决图像有效情感标注的问题,提出了一种多特征综合的图像模糊情感注释方法。该方法在讨论图像中的可视化特征(颜色、纹理和形状)与图像情感之间关系的基础上,选取和修正合适的算法提取颜色、纹理和形状特征,并将其作为模糊输入量;提出一种情感空间表示法量化情感;利用模糊集的近似推理理论完成对图像的情感注释。对100幅自然图像进行模糊情感标注,将其结果和20名自愿者对图像的情感感觉进行对比,实验结果表明,该方法能够有效地标识图像情感语义,证实了所采用的情感空间表示法具有一定的科学性,对于装潢、电子教学、图像检索和情感计算有一定的应用价值。

关键词 量化情感 特征提取 情感注释 映射

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)03-0531-06

Affective Annotation of Images Based on Multi-feature

LI Hai-Fang, JIAO Li-peng, HE Jing

(College of Computer and Software, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024)

Abstract A method of affective annotation of images based on multi-feature is proposed in this paper. First, the corresponding relations between visual features (color, texture and shape) and emotion in an image are discussed, and the relations results are provided by orthogonal experiment, research and reference documents. Then, proper algorithms have been selected and modified for abstracting the features of color, texture and shape, by way of fuzzy inputs. Finally, an affective space of emotion quantification and an approach of fuzzy approximately reasoning theory is proposed to annotate affective. The experimental results are given to show that the proposed approach achieves a higher degree of precision, by asking 20 persons to estimate 100 images' affective in contrast with the system. At the same time, it is approved that this proposed affective quantified space is provided with scientificity and practicability. It can be applied at decoration, electronics teaching, picture indexing and emotion calculation.

Keywords affective quantification, feature abstraction, affective annotation, mapping

1 引言

图像中蕴涵着丰富的情感语义,目前情感的相关计算均建立在心理学基础上^[1-2],没有完整的数学理论基础。图像信息注释的研究主要分为两个方向^[3]:一种集中于低阶描述,如占支配地位的颜色;另一种集中于内容和内容相关的注释,如人物、车

辆。对图像所孕育的丰富高阶语义信息进行描述和注释的论文还比较少。图像的高阶情感语义与低阶的可视化特征有着密切的关联,一些特定的低阶可视化特征与一定的情感相对应。当前与情感识别相关的研究主要有:Liu Hugo等人对文本进行了情感识别^[4],张颖等人对人类面部表情进行了研究^[5],取得一些成果,王伟凝等人给出一个图像情感语义提取的结构框架^[6],指出图像中的颜色、纹理、形状

基金项目:国家自然科学基金项目(60773004);山西省自然科学基金项目(2006011030,2007011050)

收稿日期:2007-03-26;改回日期:2007-09-20

第一作者简介:李海芳(1964~),女,太原理工大学计算机与科学技术博士研究生。主要研究方向为智能信息处理。E-mail: sxhlf123@

和情感之间有很大的关系,王上飞等人利用图像中的颜色和形状来对情感进行标注^[7-8],并建立情感形容词对(反义词对)。以上文献大多侧重于图像检索技术层面的探索,只有文献[8]提出利用支持向量机(SVM)对图像进行了相关的情感注释。本文从大量的实验、研究和参考文献中总结出情感与图像中低阶可视化特征的对应关系,选择了适当的特征提取算法;建立了情感空间并选用合理的表示方法实现情感量化;建立了模糊规则库,利用模糊集近似推理对图像进行情感注释,实验结果表明,有较好的效果和较高的准确率。

2 特征与情感的对应

情感有很大的主观性,不同图像或图像中不同的颜色、纹理、轮廓等会给人不同的感受,而不同的人对同一幅图像也会产生不同的情感,如 Saito 对日本和韩国进行了调查^[9],发现两个国家对同一种颜色的偏爱趋向在各自的国家里是随着年龄、性别、地理位置变化的,因此,很难在客观上给一幅图像定位为某种情感^[10],解决这样的难题可以使用个性化的检索技术进行学习或利用反馈技术,这里不做探讨。本文只对图像的一般化情感进行处理,如图 1 所示。



图 1 情感图像举例
Fig. 1 Affective pictures

图像的色彩、纹理、形状和图像中蕴涵的情感信息是紧密相连的。提取图像的哪些特征,采用何种算法实现,对图像的高阶情感语义注释会产生很大的影响。

2.1 颜色与情感

Itten 指出艺术图像中颜色的使用与表达的情感语义之间存在一定的关系^[11]。图像中颜色最能反映情感,单色或不同颜色搭配都会产生相异的情

感。本文根据调查和文献参考^[9-14],总结出颜色(包括白、灰、黑)与情感之间的一般对应关系。调查实验由 50 名学生组成(30 个男生,20 个女生),在调查问卷中列出情感词汇(有些词汇意思是相似的)和颜色,被调查者各自独立对屏幕上显示的颜色样板进行判断并填写调查问卷,对颜色填充情感词汇和对情感词汇填充颜色,记录情感词汇的最高频率并总结情感颜色最匹配的对(如对粉色的反应最多的是浪漫),结果如表 1、表 2、表 3 所示。

表 1 颜色情感的对照

Tab. 1 Image-emotion

情感	颜色说明
强烈	红色:力量色象征激烈的感情,表现情感的充分发泄
浪漫	粉红:引起兴趣快感,柔和宁静粉红、淡紫和桃红-柔和、典雅
奔放	红橙和补色蓝绿色搭配组合起来就具亲近和活泼主动
土性	土色:土性有年轻人爱笑笑闹的个性,令人联想到悠闲的生活
友善	橙色:开放、随和,又有一切表现能量和动力的素质
柔和	桃色:和紫色、绿色搭配起来,一番奇幻的神韵却油然而生
热情	黄橙:加黄色惹人怜爱,配淡琥珀色,有舒适、温馨感
动感	黄色:黄色和它的补色紫色,含有活力和行动的意味,属明色
高雅	粉黄色:淡亮色,温馨幽雅的感觉,米色:古典、高贵的气质
流行	淡黄绿色:它和补色苯胺红搭配起来,就是绝妙流行色组合
清新	绿色:拥有同样多的蓝色与黄色,带着欣欣向荣、健康的气息
传统	蓝、暗红、褐、绿:保守色加上灰色,可表达传统的主题
清爽	淡而浅的蓝绿和补色红橙色蓝绿,色彩清新、舒爽
热带	蓝绿色,绿松石绿,红橙色
古典	宝蓝色:红橙和黄橙色搭配在一起
可靠	海蓝:是最大众所接受的颜色之一
文静	灰蓝或淡蓝的明色组合:就会制造出令人平和、恬静的效果
堂皇	蓝紫色:可象征权威,表现出皇家的气派,威吓人的环境
神奇	紫色:配上橘色和绿色-刺激与新奇,配黄绿色或黄橘色-怪异
怀旧	淡紫色:任何色彩搭配淡紫色,最能诠释怀旧思古之情
活力	红紫色:搭配它的补色黄绿色,将更能表达精力充沛的气息
低沉	灰紫色:黄昏
专职	灰色或黑色:职业,灰色是红色或橘色最好的背景色
欢乐	淡黄的明色:可以营造出欢乐、诚恳的气氛
纯洁	白色:看到白色,使人觉得纯洁可爱
恐怖	黑色:黑色会给人以阴森、恐怖和庄严的感觉

表2 情感颜色的对照

Tab.2 Emotion-image

颜色	情感说明
红色	兴奋、热情、强烈、好战、希望、奋进
黄色	欢快、欣喜、喧闹、活泼、希望、健康、奔放、开朗
蓝色	宁静、文静、冷静、理智、透明、沉稳、清爽
橙色	辉煌、富贵、温暖、幸福
绿色	和平、年轻、新鲜、舒缓、清新、稳重、舒适、积极、幽雅
紫色	积极、威严、尊贵、神奇、怪异
黑色	寂寞、神秘、严肃、含蓄、庄重、恐怖、悲哀、稳重、死亡
白色	纯洁、洁白、光明、纯真、轻快、和谐、淡雅、干净、高尚
粉色	温柔、浪漫
灰色	中间色、简约、平和、浑厚、温存、稳重、朴素
银灰	健康、积极、厚重
褐色	沉稳、醇厚、严密、深沉
青色	坚强、圆顺、冷清

表3 部分填充数据

Tab.3 Part of data

单位:人

情感	红色	绿色	蓝色	情感	红色	绿色	蓝色
强烈	50	28	0	沮丧	0	0	0
热情	41	5	0	中性	0	1	3
苦恼	0	0	0	兴奋	41	3	0
狂怒	7	0	0	恐怖	7	0	0
宁静	0	23	47	清爽	0	21	49
舒服	1	49	38	寂寞	0	0	1
厌恶	12	5	2	神秘	2	0	0

2.2 形状、纹理与情感

纹理和形状对情感的影响研究从艺术角度显得比较简单,如表4所示:

表4 形状、纹理情感对照

Tab.4 The contrast of shape, texture and emotion

形状	情感	形状	情感	纹理	情感
齐	舒服	弧形	松弛	光滑	细腻、放松
缺	厌恶烦躁	曲线	动感	粗糙	温馨、温柔
菱形	正统	不稳定	焦虑	柔软	苍老
□	端正集中	稳	平静	坚硬	刚强
○	圆顺松弛	△	机械冷漠	方向	不定情感

说明:齐表示规则,缺表示不规则,□○△表示方寸,稳表示对称均衡

调查数据和丰富的先验知识为模糊规则库的建立和输入模糊化奠定了基础。

3 特征提取算法的选取和修正

3.1 颜色特征的提取

一般情况下,对图像的颜色感觉较深的是图像中比较集中的几个主要颜色,利用主颜色表现图像的颜色,适合人类感知和心理相关的颜色特征表示,实验结果表明,提取颜色越多反而效果不佳,既增加了复杂度又使得情感难以识别。主颜色主要是为了给图像区域中的颜色提供有效、紧凑和直观的描述,本文使用 Manjunath 等人的感知颜色量化算法^[15],获取每个区域的颜色集得到图像的主颜色,由于主颜色不是固定在某个颜色空间,本文对其进行修改使其固定在 HSV (hue, saturation, value) 空间中并且始终确定 4 个主颜色,在色彩空间中,HSV 更贴近人对图像色彩的理解^[16]。

首先,对 HSV 空间进行量化^[17],对于 HSV 颜色获取相应的量化颜色 $q = \{0, 1, \dots, 165\}$,计算方法为

$$q = \begin{cases} 0 & v \leq 0.1 \\ g(h, s, v) & s < 0.1 \ \& \ v > 0.1 \\ f(h, s, v) & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中, h, s, v 代表颜色分量, q 为对于颜色分量的集合。

$$g(h, s, v) = \begin{cases} 1 & s < 0.1 \ \& \ 0.1 < v \leq 0.4 \\ 2 & s < 0.1 \ \& \ 0.4 < v \leq 0.7 \\ 3 & s < 0.1 \ \& \ 0.7 < v \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

$f(h, s, v) = 18h \times 3s \times 3v$,且 $h \in [0, 2\pi]$, $s \in [0.1, 1]$, $v \in (0.1, 1]$, h 以 $1/9\pi$ 为间隔分成 18 份, s 和 v 以 0.3 为间隔分别分成 3 份。

其次,对颜色直方图进行归一化处理,这样得到每种颜色占整幅图像的百分比, $D = \{(c_i, p_i), i = 1, 2, \dots, n, p_i \in [0, 1]\}$ 其中, n 是整幅图像的主颜色数目, c_i 表示颜色, p_i 则为该颜色对应的百分比,这样主颜色 D 由颜色和对应的百分比构成,选择 4 个主导颜色,而不是只把大于 5% 的列出。

3.2 纹理特征的提取

在纹理特征提取算法的选择中,采用纹理浏览^[18-19]表示在浏览类应用中的同类纹理。它从规则性、粗糙性和方向性等方面感性地表现了纹理特征。在滤波输出中,选取两个主纹理方向(t_2, t_3),

然后分析滤波图像在主方向上的投影得出规则性 (t_1) 和粗糙性 (t_4, t_5)。其中, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 为可视化特征向量。纹理浏览采用 12 bit (t_1 向量占 2 bit) 来表示整幅图像, 其中, 2 bit 表示纹理规则性, 一个纹理可能会有几个主方向或者粗糙程度, 这样用 3 bit \times 2 (t_2, t_3 两个向量, 每个向量各 3 bit) 表示纹理方向性, 2 bit \times 2 (t_4, t_5 两个向量, 每个向量各 2 bit) 表示纹理粗糙性。纹理规则性则从 0 到 3 分为 4 bit (0 表示不规则随机纹理, 3 表示具有明确方向性和粗糙性的周期性图案)。纹理方向量化为 6 个方向, 从 0 到 $5/6\pi$ 每隔 $1/6\pi$ 为一个方向, 3 bit 共 7 个值中的“0”表示图像没有主方向, 其余的 6 个值分别表示 6 个方向。粗糙性也分为 4 bit (0 表示粗糙性较弱的颗粒纹理, 3 表示粗糙性很强纹理)。纹理浏览使用式 (3) 来表示,

$$\mathbf{B} = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) \quad (3)$$

其中, \mathbf{B} 为可视化特征向量的集合, t_1 为规则性, t_2, t_3 为方向, t_4, t_5 为粗糙度的两个尺度。

3.3 形状特征的提取

图像中的形状特征可以被认为是兼于可视化特征和语义特征的, 也就是具有语义信息, 所以要比颜色, 纹理特征提取困难, 形状特征提取有基于区域和基于轮廓的方法。一般来说人类对图像中物体的形状的主观感觉与其位置、旋转和尺寸变化的关系不大, 这里使用曲率尺寸空间^[20] (CSS) 来表示目标的封闭轮廓, 经过实验确定使用手工辅助注解形状特征, 效果良好。

3.4 图像特征的综合

从图像的检索效果 (如查全率和查精率) 方面考虑, 融合图像可视化特征的研究有很多, 但这些方法使用在图像的情感注释中效果不佳, 造成信息严重丢失、多特征表示法不理想 (一般是做归一化处理)、和情感的映射关系不好把握。因为图像的可视化特征不是单一特征, 使用“and”和“or”来连接同一规则的多个输入, 用“also”来连接多条不同的模糊规则, 这样能达到综合图像特征的目的, 减少信息流失、更好地实现和情感的映射。本文采用连接词“and”、“or”和“also”连接的一系列简单的模糊规则组成的模糊规则库实现图像可视化特征的融合。利用 $\mathbf{X} = (x_0, x_1, x_2, x_3, x_4)$ 来表示可视化特征, 其中 x_0, x_1, x_2, x_3, x_4 分别表示颜色、纹理、边缘、亮度和兴趣对象的度量值, 为模糊集近似推理的情感注

释创造条件。

4 模糊集近似推理的情感注释

4.1 情感空间的建立

定义 1 设 Θ 为情感概念集, $(\Theta, \preceq_{\theta})$ 为偏序集, $\forall (\alpha, \beta) \in \Theta^2$, $\alpha \preceq_{\theta} \beta$ 表示 α 是 β 的子概念。

定义 2 设 Φ 为一领域类集合, $P \subseteq \Theta$ 为预先定义好的一个情感概念, 其中定义情感概念类 $P = \{\text{怒, 惊, 恶, 哀, 中性, 爱, 喜, 欲}\}$ 。 \mathbf{X} 为该领域类属性集合 $\mathbf{X} = \{x | x = (x_0, x_1, x_2, x_3, x_4), y | y = y(x)\}$, 其中 $y(x)$ 为其隶属度函数。

在对图像情感的自动注释之前, 需要有效的方式将情感概念组织起来。直接使用前面所讨论的情感词汇显然是不可行的, 而且也无法量化。这里将图像的情感分成 8 种类型标准: 喜、怒、哀、惊、爱、恶、欲、中性, 隶属于 Θ 集, 其中“喜”、“爱”和“欲”定义为正面情感。显然, 建立起来的情感归类是 1 维空间, 规定其取值范围为 $[-1, 1]$ 。为了表示人类的丰富情感, 需要在以上 8 种情感的基础上进行扩展, 情感扩展的方法有两种: 一是对建立的情感概念赋予继承关系 (例如称为“荒凉”的图像被称为是“哀”的一个子情感), 认为其他情感都是这 8 种基本情感的延伸, 其他情感定义都是这 8 种基本情感的子概念; 二是赋予程度副词来表达情感扩展, (比如“很”、“非常”、“太”等)。第 2 种有利于系统的实现, 本课题正致力于建立这样的空间; 第 1 种更能表达丰富情感、贴近人的感觉, 但实现起来非常困难, 而且需要领域专家知识, 一种探索性的方法就是利用古、现代汉语词典收集情感词汇并赋予语义信息。

4.2 情感注释

本文使用 Zadeh 对语言变量的定义, 用 $\mathbf{Z} = (x_i, T(x_i), U, G, M)$ 来表征“可视化特征”和“情感”语言变量, x_i 是描述图像的可视化特征的语言变量, 如 4.1 定义 2 所述。 $T(x)$ 是语言变量值的集合: $T(x_0) = \{\text{和谐色, 不和谐色, 平静色, 兴奋色, 积极色, 消极色, 暖色, 冷色, 调和色, 高饱和度色, 低饱和度和色}\}$, $T(x_1) = \{\text{光滑, 粗糙, 柔软, 坚硬}\}$, $T(x_2) = \{\text{齐, 缺, 棱形, 方寸}(\square), \text{方寸}(\circ), \text{方寸}(\triangle)\}$, $T(x_3) = \{\text{不稳定, 稳定}\}$, $T(x_4) = \{S_i\}$; U 是 x 的论域; 每个语言变量值是定义在论域 U 上的一个模糊集合; G 是语法规则, 用

来产生语言变量 x 的值的名称; M 是映射规则,用来产生模糊集合的隶属度函数。注释过程定义为

$$X \times Y \xrightarrow{M(x)} Z$$

其中,

$$Z = \{z_{ij} | z_{ij}: x_i \mapsto y_j\} \quad (4)$$

X 为可视化特征, Y 为情感变量, Z 为映射后的情感表达, $M(x)$ 为映射规则。规则库由 n 条规则和连接词“and”、“or”和“also”组成,规则 $M(x)$ 是由前面建立的情感对关系组成的“if-then”规则,整个情感注释过程如图 2 所示:

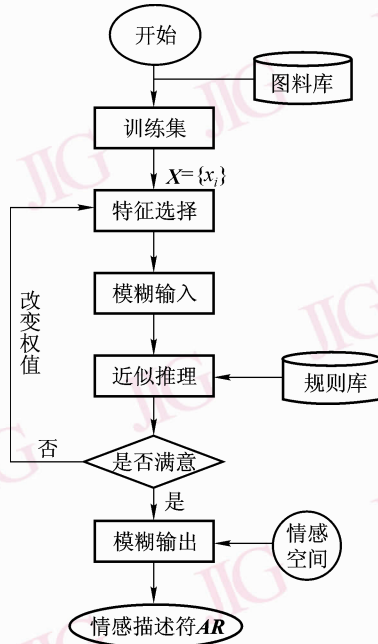


图 2 情感概念的模糊近似推理过程

Fig. 2 Fuzzy approximately reasoning for affective concept

模型中, $AR = (Z, S, \Gamma, X, D)$ 。其中 D 表示图像的原始数据, $X = \{x_i\}$ 表示图像的低阶可视化特征, $\Gamma = \{t_i\}$ 表示图像分割的原子区域(atom-region)中手工注释部分, $S = \{s_k\}$ 表示图像提取的语义特征, $Z = \{z_{ij}\}$ 表示情感概念集。

5 实验结果与分析

对 100 幅风景图像利用本文所阐述方法进行了实验,征集 20 名自愿者(给定情感词汇让其对图像进行填充)对图像进行情感评估,和对图像模糊注释的结果进行比较如表 5 所示,表 5 第 1 行为选定情感被自愿者评估过的人数,结果显示分布比较均

匀,说明图像选取的比较合理;第 2 行为平均每人注释过的该类情感图像的个数(某类情感的图像/20);第 3 行为 100 幅图像被系统注释的情感状况,其中中性的图像没有被注释过,而被注释为“爱”的图像高达 31 幅。图 3 表示图像的系统注释与人主观感觉的吻合情况,设某个人对所有图像评估的结果与系统注释结果相吻合的图像数为 m ,则图像的吻合率用式(5)表示;图 4 表示了系统对 8 个情感“怒,惊,恶,哀,中性,爱,喜,欲”注释的吻合比率(用 1~8 表示),对于某一种情感,设与系统注释为该情感相吻合的人的图像个数为 n ,则吻合比率用式(6)表示,图中可以看到比率达到 40% 以上(除“中性”外)。

$$p_1 = m/100 \times 100\% \quad (5)$$

$$p_2 = n/100 \times 100\% \quad (6)$$

表 5 情感注释对照表

Tab. 5 The result of affective annotation

评估	怒	惊	恶	哀	中性	爱	喜	欲
次数	5	4	1	12	14	12	10	7
每人	9	10	0	13	20	35	11	2
系统	18	13	2	6	0	31	27	3

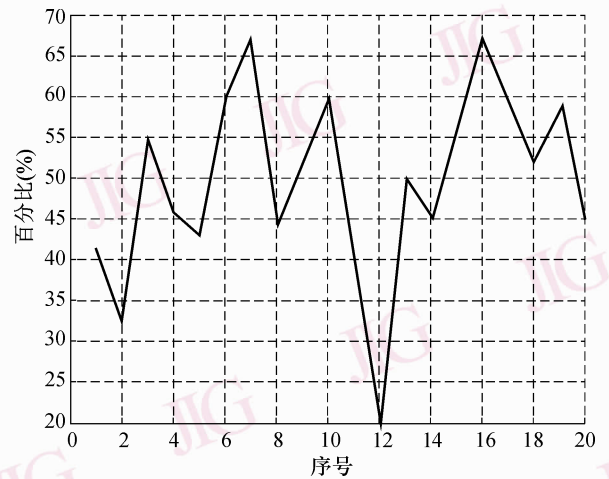


图 3 图像的吻合率

Fig. 3 Images' match rate

与参考文献[8]中 SVM 算法进行比较,本文方法的图像注释平均吻合比率达到大约 40% (如图 4 所示),因未涉及到检索,所以无法与[8]中的成功率进行比较来验证用户的满意度,但可以从用户对所有图像评估结果的图像数与系统注释结果的图像数进行比较得出吻合率平均达到了 50% 左右(如图

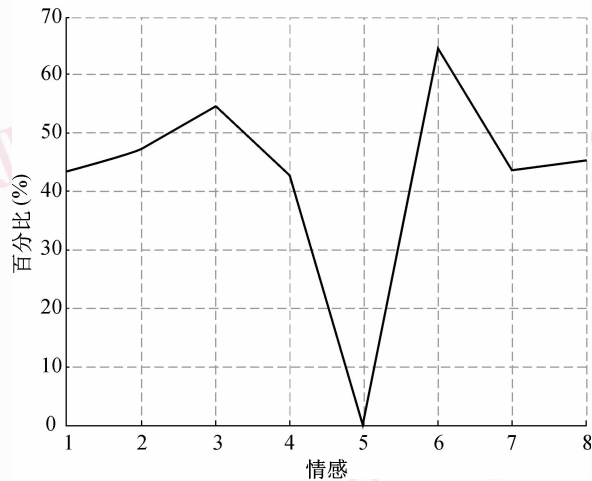


图 4 系统的情感注释率

Fig. 4 Precise rate of system

3 所示)。

本文方法的另一个特点是建立的情感空间可以独立于本系统应用,目的是建立以基本情感为基础的可扩展情感空间,收集带有程度副词的情感词汇,在实际中应用。

6 结 论

本文提出了一种多特征综合的图像模糊情感注释方法,对图像的基本情感注释取得了一定效果,对于装潢、电子教学、图像检索和情感计算有一定的贡献价值;由于模糊推理较好的扩展性和对扩展情感思考的可操作性,为提高图像情感注释的效率和准确率奠定了基础。

参考文献 (References)

- Goleman D. Emotional Intelligence [M]. New York, USA: Bantam Books, 1995: 168-223.
- Pircard. Affective Computing [M]. Cambridge, MA, USA: MIT, 1997: 127-154.
- Bloehdorn Stephan, Petridis Kosmas. Semantic annotation of images and videos for multimedia analysis [A]. In: Proceedings of 2nd European, Semantic Web Conference (ESWC 2005) [C], Heraklion, Crete, Greece, 2005:592-607.
- Liu Hugo, Selker Ted, Lieberman Henry. Visualizing the affective structure of a text document [A]. In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems [C], Ft. Lauderdale, Florida, 2003: 740-741.
- Zhang Ying, Luo Seng-lin. Recognizing and expressing affect [J]. Computer Engineering and Applications, 2004, **39**(3): 8-10. [张

- 颖,罗森林. 情感建模与情感识别 [J]. 计算机工程与应用, 2004, **39**(3): 8-10.]
- Wang Wei-ning, Yu Ying-lin. A Survey of image emotional semantic research [J]. Journal of Circuits and Systems, 2003, **8**(5): 101-109. [王伟凝,余英林. 图像的情感语义研究进展 [J]. 电路与系统学报, 2003, **8**(5): 101-109.]
- Wang Shang-fei, Wang Xu-fa. A kansei image retrieval based on emotion model [J]. Journal of Circuits and Systems, 2003, **8**(6): 48-53. [王上飞,王煦法. 基于情感模型的感性图像检索 [J]. 电路与系统学报, 2003, **8**(6): 48-53.]
- Wang Shang-fei, Chen En-hong. Research of emotion semantic image annotation and retrieval algorithm using support vector machine [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2004, **17**(1): 27-33. [王上飞,陈恩红. 基于支持向量机的图像情感语义注释和检索算法的研究 [J]. 模式识别与人工智能, 2004, **17**(1): 27-33.]
- Saito, M. Comparative studies on color preference in Japan and other Asian regions, with special emphasis on the preference for white [J]. Color Research and Application, 1996, **21**(1): 35-49.
- Li Hai-fang, Jiao Li-peng. Research of affective semantics retrieval based on content [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, **42**(18): 82-85. [李海芳,焦丽鹏. 情感语义图像检索技术研究 [J]. 计算机工程与应用, 2006, **42**(18): 82-85.]
- Itten J. Art of Color [M]. Ravensburg, Baden-Württemberg, Germany: Otto Maier Verlag, Ravensburg, 1961: 56-125.
- Linton H. Color in architecture: Design Methods for Buildings, Interiors and Urban Spaces [M]. New York, USA: McGraw Hill, 1999: 256-293.
- Mahnke F. Color, Environment, Human Response [M]. New York, USA: Van Nostrand Reinhold, 1996: 184-251.
- Zhou Chang-le. The Reviews of Mental Computation [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003: 223-267. [周昌乐. 心脑计算举要 [M]. 北京:清华大学出版社. 2003: 223-267.]
- Deng Yi-ning, Manjunath B S, Kenney Charles, et al. An efficient color representation for image retrieval [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, **10**(1): 140-147.
- Smith J R. Integrated spatial and feature image system: Retrieval, analysis and compression [D]. New York, USA: Columbia University, 1997: 96-153.
- Chiu D, Jain R. Analysis of the increase and decrease algorithms for congestion avoidance in computer networks [J]. Journal of Computer Networks and ISDN, 1989, **17**(1): 1-14.
- Manjunath B S, Ohm J R, Vasudevan V V, et al. Color and texture descriptors [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, **11**(6): 703-715.
- Manjunath B S, Ma W Y. Texture features for browsing and retrieval of image data [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, **18**(8): 837-842.
- Kaushik Chakrabarti. Similar shape retrieval in MARS [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo [C], New York, USA, 2000: 709-712.