

融合主客观信息的皮肤状态模糊综合评价研究

王昭洋, 张慧妍, 王小艺, 孟 宏, 董银卯, 何一凡, 吴金昊, 李 爽

(北京工商大学 中国化妆品研究中心, 北京 100048)

摘 要: 基于评价指标的多样性与评价标准边界的模糊性, 首先提出用改进的非线性 CRITIC 法确定皮肤各单项指标权重, 物理意义明晰并最大程度地利用了数据的差异信息; 而后提出采用模糊隶属度融合皮肤状态实测数据特性与领域专家经验; 最后, 通过模糊矩阵合成计算出测试样本对应皮肤状态的评价等级. 研究结果与领域专家的评价结果具有较好的一致性, 表明所提出方法在实际应用中的可行性与有效性.

关键词: 皮肤状态; 模糊综合评价; 改进 CRITIC 法; 模糊隶属度

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)01-0119-04

The Fuzzy Comprehensive Evaluation of Skin Condition Based on the Information of Subjective and Objective Fusion

WANG Zhao-yang, ZHANG Hui-yan, WANG Xiao-yi, MENG Hong,
DONG Yin-mou, HE Yi-fan, WU Jin-hao, LI Shuang

(China Center of China Cosmetic Research, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: On the basis the diversity of evaluation index and boundary ambiguity of evaluation standard, this paper developed nonlinear correlation coefficient applied in CRITIC method to determine the weight of each single index which has clear physical meaning and maximizes the use of test data and information difference; then synthesize the skin condition index characteristics and the experience of experts by the fuzzy membership function; finally the evaluation grade of the skin condition would be achieved by the fuzzy matrix synthesis algorithm. The evaluation results of experiment and the experts in the field have a good consistency. It indicates the feasibility and effectiveness in reality of the proposed evaluation method.

Key words: skin condition; fuzzy comprehensive evaluation; improved CRITIC; fuzzy membership

1 引言

目前皮肤状态评价主要依靠领域专家经验, 评价等级边界相对模糊. 在为数不多的已有皮肤状态评价算法研究中, 陈锦等人针对人脸皮肤粗糙度这一指标从纹理度角度定量研究了人脸皮肤纹理问题^[1]; 文献^[2]为皮肤评价指标的确定提供了借鉴; 许鹏翔利用图像提取特征指标, 而后采用神经网络对皮肤的衰老程度作评价, 对人体机能健康的关联研究具有一定的指导意义^[3]. 以往的研究工作受测

试设备、时间、经济等因素影响, 仅针对皮肤状态指标中的单个或若干个指标进行评价, 评价结果的综合性有待改善.

本文针对皮肤状态评价多指标体系, 结合领域专家经验, 提出了改进的算法, 为后续进行皮肤状态改善和护肤品配方研制提供理论支撑与决策依据.

2 人体面部皮肤状态综合评价流程

常用皮肤评价指标主要包括以下几点: 水分含量、水分散失、油脂、黑色素 MI、皮肤色度 IAT 光泽

收稿日期: 2015-02-28; **修回日期:** 2015-04-21

基金项目: 北京市教育委员会科技发展计划重点项目(KZ201510011011); 北京工商大学促进人才培养综合改革项目—中国化妆品协同创新研究中心建设(19005428069/007); 北京工商大学研究生创新基金

度、弹性 R2、粗糙度 Rz 等。皮肤测试过程中为尽量避免噪声干扰和获得典型区域的指标值,通常采取多部位、多次重复检测,以便每项指标数据都可以从不同的角度较精准地反映皮肤状态。本文针对人体面部皮肤状态进行综合评价的基本流程如图 1 所示。

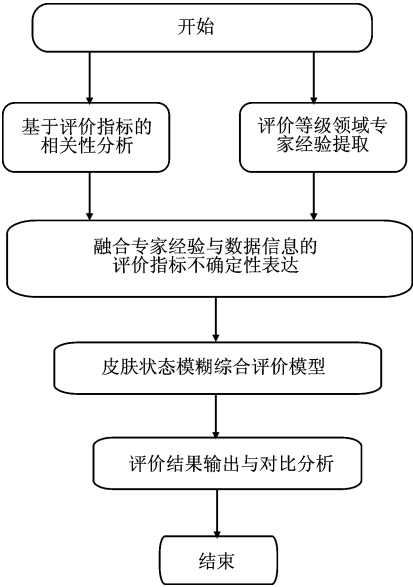


图 1 皮肤状态模糊综合评价流程图

3 主客观信息融合的模糊综合评价

3.1 改进 CRITIC 法

众多面部皮肤状态指标数据能够提供多角度的信息量。常规 CRITIC 法虽然能够有效利用数据之间的对比强度和相关性衡量不同指标的重要性,然而实测数据研究表明,皮肤状态指标间的线性相关度较低。为此,本文根据前期面部皮肤指标数据分析结果,引入非线性相关函数,对 CRITIC 方法进行改进,构建非线性相关函数如式(1)所示:

$$\varphi_{x_i^2x_j^2} = E\{[x_i^2(t) - \overline{x_i^2}(t)][x_j^2(t) - \overline{x_j^2}(t)]\}$$

(1)

式中, $x_i^2(t), x_j^2(t), t = 1, 2, \dots$ 为皮肤状态指标 i, j 样本序列值的平方, $\overline{x_i^2}, \overline{x_j^2}$ 为对应指标的平方均值, $i, j = 1, 2, \dots, m$ 。根据非线性相关函数可获得非线性相关系数,如式(2)所示。

$$\tau_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_i^2(t) - \overline{x_i^2})(x_j^2(t) - \overline{x_j^2})}{\left[\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_i^2(t) - \overline{x_i^2})^2 \cdot \sum_{t=1}^n (x_j^2(t) - \overline{x_j^2})^2} \right]^{-1}}$$

(2)

式中, τ_{ij} 为非线性相关系数。

CRITIC 权重确定法作为一种客观赋权方法^[4],其对比强度是指每个指标对应的标准差,标准差越大,该指标所含的信息量则越大;而指标冲突性则是建立在指标相关性的基础上,若指标的负相关系数越大,则表明指标之间反映的信息有较大不同,其所占的权重将更大。

以 C_j 表示第 j 个指标所含的信息量,则 C_j 的确定公式如下:

$$C_j = \frac{\sigma_j}{\mu_j} \sum_{j=1}^m (1 - \tau_{ij}) (j = 1, 2, \dots, m)$$

(3)

式中, σ_j 为第 j 个指标的标准差, μ_j 为第 j 个指标的均值, τ_{ij} 为第 i 个和第 j 个指标的非线性相关系数。式(3)中通过引入均 μ_j 值,对原 CRITIC 算法进行修正,使得信息量 C_j 采用相对值度量,消除了不同量纲的影响。

这样,依据信息量 C_j 所反映的信息,确定面部皮肤状态评价指标的权重计算公式如下:

$$a_j = C_j / \sum_{j=1}^m C_j (j = 1, 2, \dots, m)$$

(4)

3.2 主客观信息融合的模糊隶属度

目前,针对皮肤状态指标的单因素评价标准,领域内专家已初步达成一致,如表 1 所示,可将测试的皮肤指标分为 I、II、III、IV 四个等级, I 级表示某项皮肤指标最好, IV 为最差。其中,基于数据和评价标准的不确定性,采用区间数划分等级边界。

实测样本数据统计分析表明,皮肤状态指标大多数指标服从或近似服从正态分布,数据分布连续性与平滑性较好。基于此,本文提出采用正态模糊隶属度描述皮肤状态指标数据的渐变过程,融合主客观因素用以实现对皮肤状态指标的综合评价。

表 1 基于专家意见的皮肤状态指标单因素分类等级

指标 等级	水分含量	水分散失	油脂	黑色素 MI	皮肤色度 IAT	光泽度	弹性 R2	粗糙度 Rz
I 优	≥65	0~13	30~40	≤150	≥45	≥10	≥0.9	0~0.08
II 良	40~65	13~20	15~30, 40~55	150~250	20~45	6~10	0.6~0.9	0.08~0.12
III 中	20~40	20~30	10~15, 55~65	250~300	—5~20	3~6	0.3~0.6	0.12~0.16
IV 差	≤20	≥30	≤10, ≥65	≥300	—30~—5	0~3	0~0.3	≥0.16

以测试指标水分含量 x_1 所处的 IV 等级为例, 水分含量 IV 等级的隶属度函数结构可按式(5) 确定,其模糊隶属度如图 2 所示.

$$r_{14}(x_1) = \begin{cases} 1, x_1 \leq d_{14} \\ e^{-\frac{(x_1-d_{14})^2}{\sigma_{14}^2}}, x_1 > d_{14} \end{cases} \quad (5)$$

式中, σ_{14} 为正态分布的标准差,可依据实测指标数据统计获得, $\sigma_{14} = 3.162$; d_{14} 表示隶属度为 1 的转折点,这里按照专家意见认为 $r_{14}(20) = 1$,表明水分含量小于 20, 其隶属于 IV 等级的模糊隶属度为 1.

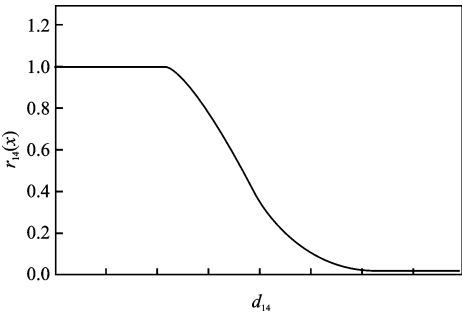


图 2 水分含量 IV 等级的隶属度曲线

3.3 建立模糊综合评价模型

基于以上分析, 本节采用模糊综合评价方法^[5-6] 构建人体面部皮肤状态评价模型, 通过对主客观信息的有效继承, 可以较好地避免评价信息丢失, 实现对人体面部皮肤状态的综合评价分级.

设 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, $V = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$ 为两个有限论域, 其中 U 为因素集, $x_1, x_2, \dots, x_m$ 为参与评价的皮肤指标数值, V 为评语集, $y_1, y_2, \dots, y_l$ 为对应的评价集合. 通过单因素评判, 得到 U 到 V 的模糊映射, 进而可诱导确定出模糊关系矩阵 R 如式(6) 所示.

$$R = [r_{ik}] = \begin{Bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1l} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{ml} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

式中, r_{ik} 表示第 i 个皮肤指标可能被评为 k 等级皮肤状态的可能性, 即 i 对 k 的模糊隶属度, $0 \leq r_{ik} \leq 1$.

要进行综合评价, 考察因素论域 U 上的综合模糊子集为

$$A = \frac{a_1}{x_1} + \frac{a_2}{x_2} + \dots + \frac{a_m}{x_m} \quad (7)$$

式中, a_i 为第 i 项因素在所有参与评价因素中依据改

进的非线性 CRITIC 法按式(4) 确定的权重.

将 A 和 R 进行复合运算就可以得到综合评价模糊子集 B , 如式(8) 所示.

$$B = (b_k) = (\bigcup_{i=1}^m a_i \cap r_{ik}) k = 1, 2, \dots, l \quad (8)$$

式(8) 利用模糊矩阵合成算法或普通矩阵的算法, 如式(9) 所示.

$$B = A \cdot R \quad (9)$$

式中, 运算符“ $\cdot$ ”为合成算子^[7].

这样, 获得的评语论域 V 上模糊子集可表示为

$$B = \frac{b_1}{y_1} + \frac{b_2}{y_2} + \dots + \frac{b_l}{y_l} \quad (10)$$

式中, b_k 表示对 y_k 模糊子集的隶属程度.

4 应用实例分析

4.1 样本来源

选取北京工商大学化妆品协同中心实验室于 2014 年 7 月 26 日测试获得的 52 组皮肤本底样本数值. 测试过程中保证被测人员的皮肤清洁, 以及环境恒温, 采用专业皮肤测试仪器对被测人员的水分含量、水分散失、油脂、黑色素、皮肤色度、光泽度、弹性、粗糙度等多项指标进行测试, 部分测试数据如表 2 所示.

4.2 皮肤状态模糊综合评价

具体流程如下:

首先, 通过数据分析, 采用非线性 CRITIC 法利用式(1)~(4) 获得各个指标的相对权重, 用以区分不同皮肤状态指标的重要程度.

其次, 参照第 3.2 节中的方法, 融合实测数据特性及领域专家意见确定皮肤各项指标分类等级的模糊隶属度函数.

最后, 通过构建用以表示评语论域 V 与因素论域 U 之间的模糊关系矩阵 R , 通过模糊矩阵运算, 可得到测试样本的融合主客观信息的多指标综合评价等级.

取实验室某测试样本, 其指标数据如下:

$$P = [68.12, 15.5, 30.286, 36.33, 8.56, 0.870, 8.59, 0.167].$$

计算评价中用到的指标权重为

$$A = \begin{pmatrix} 0.154 & 1, 0.145 & 4, 0.244 & 2, 0.069 & 3, \\ 0.086 & 4, 0.089 & 5, 0.074 & 2, 0.137 & 0 \end{pmatrix}^T.$$

通过模糊隶属度计算, 获取的模糊关系矩阵 R 如下:

表 2 实验室测试样本指标数据

指标 编号	水分含量	水分散失	油脂	黑色素 MI	皮肤色度 IAT	光泽度	弹性 R2	粗糙度 Rz
1	61.96	27.1	26	269.3	32.3	7.47	0.740 6	0.113 3
2	69.94	15.1	37	229.0	35.3	4.93	0.663 4	0.096 7
3	62.96	9.6	35	242.7	28.3	6.78	0.564 4	0.107 3
4	56.54	12.3	19	228.0	40.7	5.98	0.582 2	0.0716
5	29.02	29.6	14	139.7	45.3	6.66	0.569 9	0.185 1
6	42.86	25.6	30	234.0	38.3	8.06	0.734 1	0.066 2
7	44.6	15.1	51	260.3	32.3	10.05	0.787 9	0.085 9
8	66.56	12	26	263.3	36	7.0	0.553 2	0.100 5
9	34.5	15.9	25	252.6	38.3	6.56	0.557 3	0.097 1
10	43.78	19.6	54	253	28.3	5.31	0.635 5	0.135 3
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
51	174.44	28.9	22	241.7	44.3	9.92	0.585 0	0.071 6
52	50.48	30.2	40	192.3	61.7	6.69	0.761 6	0.092 8

$$R = [r_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.962 & 0.037\ 5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.499 & 0.415 & 0 & 0 \\ 0 & 0.051\ 9 & 0.824 & 0 \\ 0.017\ 5 & 0.712 & 0 & 0 \\ 0.237 & 0.925 & 0.016\ 2 & 0 \\ 0.306 & 0.523 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.154 & 0.846 \end{bmatrix}.$$

由式(9)计算样本的皮肤综合等级评价值为
 $B = A \bullet R = [0.315\ 7, 0.439, 0.079\ 67, 0.115\ 9].$

可见,测试样本处于 II 等级的综合隶属度为 0.439,大于其他级别的综合隶属度,因此,将 II 等级作为该样本的多指标综合评价结果.

在已有的 52 组样本中随机选取 10 个样本,利用本文所提方法进行综合计算,并统计中医领域、皮肤外科领域、化妆品领域专家的研判结果,表明采用本文提出的融合主客观信息的模糊综合评价方法与专家意见吻合度较高,具体对比如表 3 所示.

表 3 皮肤状态样本评价结果比较

样本	1	3	4	5	9	10	21	32	35	40
综合评价	II	I	II	III	II	II	I	III	II	I
专家意见	II	I	II	II	II	II	I	III	II	I

易知,所考察的 10 个样本中有 9 个样本评价结果与专家意见相符,1 个样本结果与专家所给等级

相邻.表明所提方法的评价结果与实际情况相符,评价趋势一致性较好,算法简洁、高效.

5 结束语

本文从皮肤状态评价体系中的指标相关性入手,提出以下观点.

(1)改进 CRITIC 法,对具有非线性关联特性的皮肤指标进行相关性分析,同时改进信息量 C_j 的定义,完成评价指标相对权重的确定.

(2)针对皮肤状态指标数据的特性及领域专家给出评级标准的边界不确定性,提出采用融合主客观信息的模糊隶属度函数进行指标分级中的渐变变量描述.

(3)采用模糊矩阵合成算法综合多指标评价因素,最终确定测试样本的皮肤状态综合评价等级.

算法结果与专家研判结果相比较一致性良好,表明所提出方法具有较好地实际应用与理论参考价值,简洁、高效,易于推广.

参考文献:

[1] 陈锦. 人脸皮肤粗糙度的量化评价及其在医学美容界的应用[D]. 成都:电子科技大学, 2009.
[2] 文翔, 蒋献, 卞彩云, 等. 三种无创性方法评价女性年龄与皮肤纹理, 粗糙度, 弹性的关系[J]. 四川大学学报: 医学版, 2009, 40(2): 364-366.
[3] 许鹏翔. 皮肤评价系统的研究[D]. 北京:北京工业大学, 2007.

应的电缆束增加屏蔽层,且屏蔽层应以 360 度方式端接到设备连接器的金属外壳上(连接器金属外壳一般与机箱相连接),而不应采用猪尾巴线(pig-tail)方式进行接地.

(2)接地:确保设备的数字地、电源地与设备机壳地之间具有良好的接地;若 TVS 管需要连接到地上(单端信号一般要将 TVS 接地,例如 RS232 接口信号),则应将其连接到机壳地.

(3)布局布线:TVS 应尽量靠近被保护接口的对外连接器引脚处.

5 结束语

针对机载电子设备的接口展开闪电间接效应防护电路的设计. 根据环境试验要求,提出了采用 TVS 管的设计方案,并给出了 TVS 管参数计算方法. 在综合考虑防护器件 TVS 管及系统设计约束的基础上,设计了一种以太网闪电间接效应防护电路,并通过测试给出了增加防护电路对以太网接口的电气特性影响分析. 最后,通过机载电子设备在闪电环境试验室的试验验证,本文所设计的电路能够满足闪电间接效应环境试验要求.

参考文献:

[1] 高成,宋双,郭永超,等. 飞机雷击附着区域的划分仿真研究[J]. 电波科学学报,2012,27(6):38-43.

[2] Environmental conditions and test procedures for airborne equipment[S]. RTCA,DO-160G,2010.

[3] Aircraft lightning test methods[S]. SAE,ARP5416,2005.

[4] 王瑾,冯振宇,齐亮,等. 民用飞机闪电分区适航验证技术研究进展[J]. 中国安全生产科学技术,2011,7(12):97-102.

[5] McCreary C A,Lail B A. Lightning transient suppression circuit design for avionics equipment[C]// Electromagnetic Compatibility (EMC), 2012 IEEE International Symposium on. Scottsdale, AZ: IEEE,2012: 93-98.

[6] 叶继海,金平,韩冰. 飞控系统闪电间接效应的防护设计[J]. 电子设计工程,2014,22(2):48-51.

作者简介:

朱恩亮 男,(1983-),硕士研究生,工程师. 研究方向为计算机应用. E-mail:enliangzhu@163. com

(上接第 122 页)

[4] Diakoulaki D, Mavrolas G, Papayannakis L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method [J]. Computers Ops Res, 1995, 22(7):763-770.

[5] 左双勇,陈光喜,丁勇,等. 基于模糊决策理论的主观信任模型评估[J]. 微电子学与计算机,2011,28(9): 89-92.

[6] 曹晖,何波,刘慧明,等. 基于遗传算法的模糊神经网络控制技术研究[J]. 微电子学与计算机,2010,27

(10):149-151.

[7] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M] . 武汉:华中科技大学出版社,2006.

作者简介:

王昭洋 女,(1991-),硕士研究生. 研究方向为数据分析与系统评价方向. E-mail:sophiewong0121@126. com

张慧妍 女,(1973-),博士,副教授,硕士研究生导师. 研究方向为基于数据的综合评价与预测研究.