

软件用户界面的综合评价方法

颜声远,李庆芬,贺 鹏,陈乃巨

(哈尔滨工程大学 机电学院 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要 软件用户界面是人与计算机交互的重要组成部分,科学合理的软件用户界面设计质量的定量评价方法尚处于探讨之中.通过分析计算机软件用户界面设计要素的特点,提出了基于层次模型结构和灰色关联分析的用户界面设计综合评价方法,它能够较好地处理多因素相互影响、含未知或非确知信息系统的软件用户界面定量评价问题.该方法简洁明了,易于实际应用.

关键词 软件用户界面;层次分析法;灰色关联分析;综合评价

中图分类号 :TB18 ;N941.5 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-704X(2004)05-0653-05

A comprehensive evaluation of software user interface

YAN Sheng-yuan, LI Qing-fen, HE Peng, CHEN Nai-ju

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract Software user interface is an important human-computer interaction component. A scientific and reasonable quantitative analysis method of software user interface design quality requires studying. By analyzing the characteristic of the key factors of software user interface design, a comprehensive evaluation method was given in view of analytical hierarchy process construction and gray relation analysis. This method can better cope with the quantitative evaluation of a system where multi-factors interact and unknown or uncertain information is included. This method is simple and easy to use in practice.

Key words software user interface; analytical hierarchy process; gray relation analysis

随着计算机性能的不断提高,软件用户界面对人与计算机交互效率和可靠性的影响日益突出^[1]. 计算机软件用户界面的设计涉及六大方面 48 个评价项目^[2]. 软件用户界面的评价具有以下特点:1)评价项目众多,无法定量描述;2)视知觉具有整体性、选择性、理解性、恒常性和错觉等属性,显示的综合效果并不是各单一效果的简单叠加;3)软件用户界面的评价主要以人的主观感受为评判依据,它受人的辨识能力、认读过程、舒适性和系统功能以及个人的知识、经验和喜好等已知、未知或非确知因素的影响^[3]. 这些特点使得人们对软件用户界面的评价十分困难^[4]. 因此,寻求科学合理的软件用户界面评价方法具有重要意义^[5].

层次分析法(AHP(analytic hierarchy process))将

复杂问题分解为层次模型结构^[6],引入了 1-9 级重要性比率标度,使得对非常复杂的软件用户界面进行定量分析成为可能.同时,借助于矩阵分析工具,可以对判断矩阵进行一致性检验,保证判断思维的连贯性和一致性,从而可以客观地描述评价项目的权重.

含有未知或非确知信息的系统称为灰色系统^[7]. 软件用户界面的评价具有灰色系统特征,在分析了软件用户界面层次模型结构和评价项目要素的基础上,将层次分析法和灰色关联分析法相结合,对软件用户界面的设计质量进行了评价.

1 层次分析法(AHP)的基本步骤

- 1)建立问题的递阶层次结构.
 - 2)构造两两比较判断矩阵.
 - 3)由判断矩阵计算被比较元素相对权重.
- ①计算判断矩阵每一行元素的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij} \quad i = 1 \ 2 \ \dots \ m ;$$

②计算 M_i 的 n 次方根 $\bar{W}_i, \bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$;

③对向量 $\bar{W}=[\bar{W}_1, \bar{W}_2 \ \dots \ \bar{W}_n]^T$ 正规化 ,即

$$W_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_i} , \quad (1)$$

则 $W=[W_1, W_2 \ \dots \ W_n]^T$ 即为所求特征向量 ;

④计算判断矩阵最大特征根 λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} , \quad (2)$$

式中 $(AW)_i$ 表示 AW 向量的第 i 个元素 ;

⑤一致性判断

随机一致性比率为

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.10 \quad (3)$$

时即认为判断矩阵具有满意的一致性 ,其中判断矩阵的一致性指标为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} . \quad (4)$$

同阶平均随机一致性指标 RI 值见表 1 , m 为判断矩阵的阶次 .

表 1 平均随机一致性指标值

Table 1 Average RI values of random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

4) 计算各层元素的组合权重 .

2 灰色关联评价方法的基本步骤

1)选取与计算机软件用户界面设计密切相关的要素作为评价项目 .

2)采用层次分析法确定各个评价项目的权值 p_k .

3)建立计算机软件用户界面设计的灰色评价模型 .其基本思想是 :根据参考数列(评价标准)曲线和被比较数列(设计方案)曲线间的相似程度来判断关联程度 .相似程度越大 ,关联程度越大 ,设计方案与评价标准越接近 .

记数列集 $X=\{x_i \mid i \in N, N=\{0 \ 1 \ 2 \ \dots \ m\}, x_i=(x_i(1) \ \dots \ x_i(n)), x_i(k) \in x_i, k \in K, K=\{1, 2 \ \dots \ m\}, x_i(k)$ 为方案 i 的第 k 个指标 $\}$.

式中 : $i=0$ 为参考数列 ; $i=1 \ 2 \ \dots \ m$ 为被比较数列 .

(1)确定参考数列

利用灰色关联方法对计算机软件用户界面设计质量进行综合评价时 ,需要先设定评价标准(参考数列) .评价标准应选取所有设计方案中各项指标的最优者 .

对于初值不同的数列作关联度分析时 ,一般要先进行无量纲化处理 ,生成新的数列 .这里选用均值化生成法 .

均值化生成为 $MGO : x \rightarrow {}^m x ; MGO : x(k) \rightarrow {}^m x(k), {}^m x(k) = x(k) / \bar{x}$.

$$(5)$$

$$\bar{x} = [1/(n-1)] \sum_{k=1}^n x(k) .$$

(2)计算关联系数

关联系数是各被比较数列曲线和参考数列曲线在各点的相对差值 .计算公式为

$$r_{\alpha}(k) =$$

$$\frac{\min_{i \in N} \min_{k \in K} |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_{i \in N} \max_{k \in K} |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_{i \in N} \max_{k \in K} |x_0(k) - x_i(k)|} . \quad (6)$$

式中 : $\zeta \in [0 \ 1]$ 为分辨率 ,一般取 $\zeta = 0.5 ; i \in N, N = \{1 \ 2 \ \dots \ m\} ; k \in K, K = \{1 \ 2 \ \dots \ m\}$.

(3)计算关联度

关联系数给出的信息过于分散 ,不便于比较 .可用求加权平均的方法对信息进行集中处理 .得到关联度计算公式

$$r_i = \sum_{k=1}^n p_k r_{\alpha}(k) \quad i \in N, N = \{1 \ 2 \ \dots \ m\} . \quad (7)$$

r_i 越大 ,表示被比较数列(设计方案)曲线和参考数列(评价标准)曲线越接近 ,即相应的计算机软件用户界面设计方案越优 .

3 算 例

假设有 3 种待评的计算机软件用户界面设计方案 ,现采用层次模型结构和灰色关联分析综合法对其进行评价 .

3.1 建立问题的递阶层次结构

计算机软件用户界面的递阶层次结构如图 1 所示 .

3.2 构造两两比较判断矩阵 ,计算被比较元素相对权重

1-9 级重要性比率标度法含义如下 :标度 1 表示两个因素同样重要 ,3 表示一个因素比另一因素稍微重要 ,5 表示一个因素比另一因素明显重要 ,7 表示一个因素比另一因素强烈重要 ,9 表示一个因素比另一因素极端重要 .

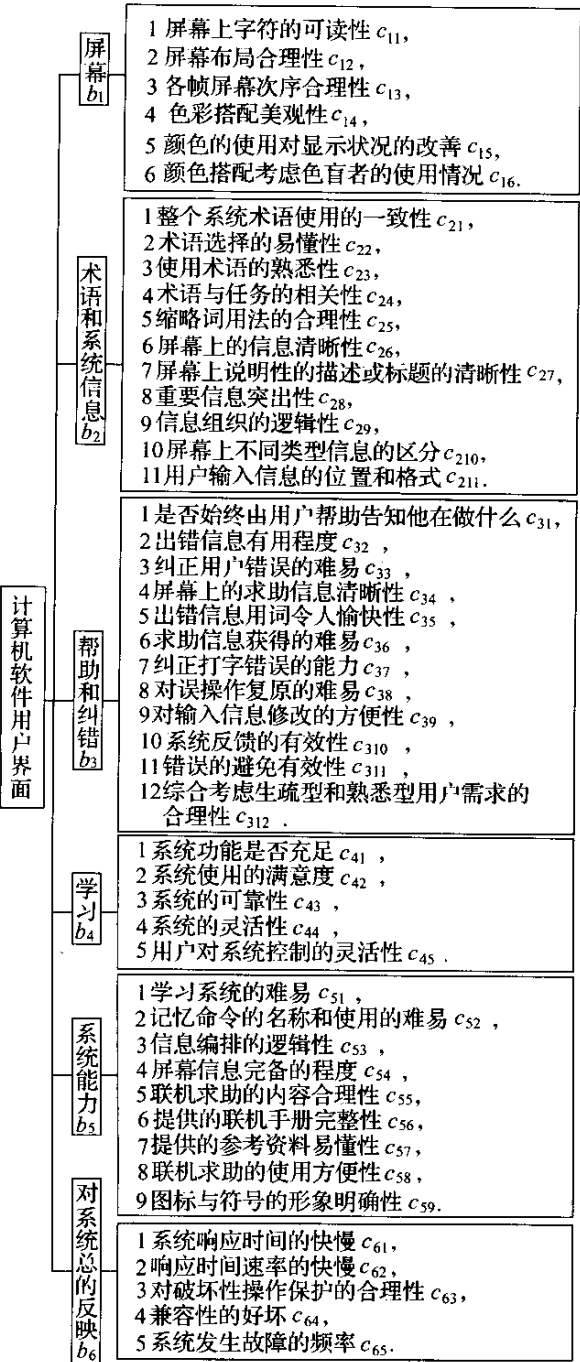


图 1 计算机软件用户界面层次分布

接着上述约定构造的相对于计算机软件用户界面各要素相对重要性判断矩阵见表 2 ,相对于屏幕各要素相对重要性判断矩阵见表 3.

由式 (1)~(4) 可以计算出各判断矩阵对应的特征向量 W 、最大特征根 λ_{\max} 、随机一致性比率 CR 、判断矩阵的一致性指标 CI 、同阶平均随机一致性指标 RI 值由表 1 查得.

表 2 相对于计算机软件用户界面各要素相对重要性判断矩阵

Table 2 The importance judgement matrix to every key element of user's interface of the computer software

	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
b_1	1	1/3	1/3	1/5	1/3	1/5
b_2	3	1	1/3	1/3	1	1/3
b_3	3	3	1	1/3	1	1
b_4	5	3	3	1	3	1
b_5	3	1	1	3	1	3
b_6	5	3	1	1	1/3	1

$W_b = (0.048 \quad 0.099 \quad 0.171 \quad 0.323 \quad 0.171 \quad 0.187)$, $\lambda_{b\max} = 6.588$, $CR_b = 0.093$, $CI_b = 0.118$, $RI_b = 1.260$.

表 3 相对于屏幕各要素相对重要性判断矩阵

Table 3 The importance judgement matrix to every key element of screen

	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14}	c_{15}	c_{16}
c_{11}	1	1/3	1/3	1	1	5
c_{12}	3	1	1	3	3	5
c_{13}	3	1	1	1	1	3
c_{14}	1	1/3	1	1	3	3
c_{15}	1	1/3	1	1/3	1	3
c_{16}	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1

$W_{c1} = (0.130 \quad 0.324 \quad 0.206 \quad 0.172 \quad 0.119 \quad 0.048)$, $\lambda_{c1\max} = 6.426$, $CR_{c1} = 0.068$, $CI_{c1} = 0.085$, $RI_{c1} = 1.260$.

同理可得

$W_{c2} = (0.109 \quad 0.089 \quad 0.044 \quad 0.139 \quad 0.038 \quad 0.066 \quad 0.047 \quad 0.098 \quad 0.178 \quad 0.139 \quad 0.054)$, $\lambda_{c2\max} = 12.203$, $CR_{c2} = 0.079$, $CI_{c2} = 0.120$, $RI_{c2} = 1.520$

相对于帮助和纠错各要素相对重要性判断矩阵

$W_{c3} = (0.154 \quad 0.154 \quad 0.154 \quad 0.057 \quad 0.023 \quad 0.057 \quad 0.057 \quad 0.154 \quad 0.057 \quad 0.057 \quad 0.057 \quad 0.023)$, $\lambda_{c3\max} = 12.116$, $CR_{c3} = 0.007$, $CI_{c3} = 0.011$, $RI_{c3} = 1.540$

相对于学习各要素相对重要性判断矩阵

$W_{c4} = (0.054 \quad 0.344 \quad 0.129 \quad 0.129 \quad 0.344)$, $\lambda_{c4\max} = 5.056$, $CR_{c4} = 0.012$, $CI_{c4} = 0.014$, $RI_{c4} = 1.120$,

相对于系统能力各要素相对重要性判断矩阵

$W_{c5} = (0.281 \quad 0.088 \quad 0.128 \quad 0.100 \quad 0.065 \quad 0.100 \quad 0.088 \quad 0.061 \quad 0.088)$, $\lambda_{c5\max} = 9.453$, $CR_{c5} = 0.039$, $CI_{c5} = 0.057$, $RI_{c5} = 1.460$

相对于对系统总的反映各要素相对重要性判断矩阵

$W_{c6} = (0.198 \quad 0.198 \quad 0.247 \quad 0.159 \quad 0.198)$, $\lambda_{c6\max} = 5.148$, $CR_{c6} = 0.033$, $CI_{c6} = 0.037$, $RI_{c6} =$

1.120

3.3 计算相对于计算机软件用户界面各要素相对

重要性总排序 $c1_i = W_{bi} \cdot W_{cij}$

$c_1=(0.006\ 0.016\ 0.010\ 0.008\ 0.006\ 0.002)$

$c_2=(0.011\ 0.009\ 0.004\ 0.014\ 0.004\ 0.007$
 $0.005\ 0.010\ 0.018\ 0.014\ 0.005)$

$c_3=(0.026\ 0.026\ 0.026\ 0.010\ 0.004\ 0.010$
 $0.010\ 0.026\ 0.010\ 0.010\ 0.010\ 0.004)$

$c_4=(0.017\ 0.111\ 0.042\ 0.042\ 0.111)$

$c_5=(0.048\ 0.015\ 0.022\ 0.017\ 0.011\ 0.017$
 $0.015\ 0.010\ 0.015)$

$c_6=(0.037\ 0.037\ 0.046\ 0.030\ 0.037)$

3.4 对层次总排序进行一致性检验

$CI = \sum_{i=1}^6 W_{bi} CI_{ci} = 0.048 \times 0.085 + 0.099 \times 0.120 +$
 $0.171 \times 0.011 + 0.323 \times 0.014 + \times 0.171 \times$
 $0.057 + 0.187 \times 0.037 = 0.039 ,$

$RI = \sum_{i=1}^6 W_{bi} RI_{ci} = 0.048 \times 1.260 + 0.099 \times 1.520 +$
 $0.171 \times 1.540 + 0.323 \times 1.120 + 0.170 \times$
 $1.460 + 0.187 \times 1.120 = 1.295 ,$

$CR = \frac{CI}{RI} = 0.03 < 0.1 .$

由式(3)可以判定 判断矩阵具有满意的一致性 .

由层次分析法得到的计算机软件用户界面设计各评价项目权值及使用者对各评价项目的评价分值如表 4 所示 (评价采用语义评分法 :优秀 5 分、良好 4 分、一般 3 分、差 2 分、极差 1 分).

表 4 各评价项目权值和分值

Table 4 The power value and evaluation value of evaluation factors

评价项目	评价项目权值	评价项目分值		
		方案 1	方案 2	方案 3
1 c_{11}	0.006	3	4	5
2 c_{12}	0.016	2	2	3
3 c_{13}	0.010	3	4	4
4 c_{14}	0.008	5	3	3
5 c_{15}	0.006	4	4	4
6 c_{16}	0.002	2	5	2
7 c_{21}	0.011	3	2	5
8 c_{22}	0.009	4	4	4
9 c_{23}	0.004	5	3	3
10 c_{24}	0.014	2	5	3
11 c_{25}	0.004	3	4	4
12 c_{26}	0.007	3	3	3
13 c_{27}	0.005	5	2	5

续表

评价项目	评价项目权值	评价项目分值		
		方案 1	方案 2	方案 3
14 c_{28}	0.010	4	4	4
15 c_{29}	0.018	2	2	3
16 c_{210}	0.014	5	4	5
17 c_{211}	0.005	2	3	4
18 c_{31}	0.026	5	4	2
19 c_{32}	0.026	3	5	4
20 c_{33}	0.026	3	3	4
21 c_{34}	0.010	5	4	4
22 c_{35}	0.004	4	4	4
23 c_{36}	0.010	2	3	4
24 c_{37}	0.010	3	2	2
25 c_{38}	0.026	5	3	3
26 c_{39}	0.010	2	4	4
27 c_{310}	0.010	4	3	3
28 c_{311}	0.010	5	5	4
29 c_{312}	0.004	2	4	5
30 c_{41}	0.037	2	4	3
31 c_{42}	0.037	3	5	3
32 c_{43}	0.046	5	3	4
33 c_{44}	0.030	4	5	4
34 c_{45}	0.037	4	3	3
35 c_{51}	0.017	3	2	3
36 c_{52}	0.111	5	5	3
37 c_{53}	0.042	2	3	2
38 c_{54}	0.042	4	4	4
39 c_{55}	0.111	3	3	4
40 c_{56}	0.048	3	4	2
41 c_{57}	0.015	4	2	3
42 c_{58}	0.022	3	5	4
43 c_{59}	0.017	5	2	3
44 c_{61}	0.011	2	4	4
45 c_{62}	0.017	4	3	2
46 c_{63}	0.015	3	5	5
47 c_{64}	0.010	5	2	5
48 c_{65}	0.015	3	3	2

现在对这 3 种计算机软件用户界面设计质量进行综合评价 .

参考数列选取表 5 的 3 种待评设计方案中各项评价指标最优者 即:

$x_0=(5\ 3\ 4\ 5\ 4\ 5\ 5\ 4\ 5\ 5\ 4\ 3\ 5\ 4\ 3\ 5\ 4\ 5\ 5 ,$
 $4\ 5\ 4\ 4\ 3\ 5\ 4\ 4\ 5\ 5\ 3\ 5\ 3\ 4\ 4\ 4\ 4\ 5\ 5 ,$
 $4\ 4\ 5\ 5\ 3\ 4\ 5\ 5\ 5\ 4)$

由式(5)对该数列进行均值化无量纲处理得^m x_i :

$m x_0=(1.135\ 0.681\ 0.908\ 1.135\ 0.908\ 1.135$
 $1.135\ 0.908\ 1.135\ 1.135\ 0.908\ 0.681$
 $1.135\ 0.908\ 0.681\ 1.135\ 0.908\ 1.135$
 $1.135\ 0.908\ 1.135\ 0.908\ 0.908\ 0.681$
 $1.135\ 0.908\ 0.908\ 1.135\ 1.135\ 0.681$
 $1.135\ 0.681\ 0.908\ 0.908\ 0.908\ 0.908$
 $1.135\ 1.135\ 0.908\ 0.908\ 1.135\ 1.135$
 $0.681\ 0.908\ 1.135\ 1.135\ 1.135\ 0.908)$

$${}^m x_1 = (\begin{matrix} 0.844 & 0.563 & 0.844 & 1.407 & 1.126 & 0.563 \\ 0.844 & 1.126 & 1.407 & 0.563 & 0.844 & 0.844 \\ 1.407 & 1.126 & 0.563 & 1.407 & 0.563 & 1.407 \\ 0.844 & 0.844 & 1.407 & 1.126 & 0.563 & 0.844 \\ 1.407 & 0.563 & 1.126 & 1.407 & 0.563 & 0.844 \\ 1.407 & 0.563 & 1.126 & 0.844 & 0.844 & 1.126 \\ 0.844 & 1.407 & 0.563 & 1.126 & 0.844 & 1.407 \\ 0.844 & 0.563 & 0.844 & 1.407 & 1.126 & 1.126 \end{matrix})$$

$${}^m x_2 = (\begin{matrix} 1.112 & 0.556 & 1.112 & 0.834 & 1.112 & 1.391 \\ 0.556 & 1.112 & 0.834 & 1.391 & 1.112 & 0.834 \\ 0.556 & 1.112 & 0.556 & 1.112 & 0.834 & 1.112 \\ 1.391 & 0.834 & 1.112 & 1.112 & 0.834 & 0.556 \\ 0.834 & 1.112 & 0.834 & 1.391 & 1.112 & 0.556 \\ 1.391 & 0.834 & 1.112 & 0.834 & 1.112 & 0.556 \\ 1.391 & 0.556 & 1.112 & 0.834 & 1.391 & 0.556 \\ 0.834 & 1.112 & 1.391 & 0.834 & 1.391 & 0.834 \end{matrix})$$

$${}^m x_3 = (\begin{matrix} 1.382 & 0.829 & 1.106 & 0.829 & 1.106 & 0.553 \\ 1.382 & 1.106 & 0.829 & 0.829 & 1.106 & 0.829 \\ 1.382 & 1.106 & 0.829 & 1.382 & 1.106 & 0.553 \\ 1.106 & 1.106 & 1.106 & 1.106 & 1.106 & 0.553 \\ 0.829 & 1.106 & 0.829 & 1.106 & 1.382 & 0.829 \\ 0.829 & 0.553 & 1.106 & 1.106 & 0.553 & 0.829 \\ 1.106 & 0.829 & 1.106 & 0.553 & 1.382 & 1.382 \\ 0.553 & 0.829 & 0.829 & 1.106 & 1.106 & 0.829 \end{matrix})$$

由式 6 计算关联系数

$$r_{01} = (\begin{matrix} 0.517 & 0.734 & 0.847 & 0.534 & 0.591 & 0.348 \\ 0.517 & 0.591 & 0.534 & 0.348 & 0.847 & 0.662 \\ 0.534 & 0.591 & 0.734 & 0.534 & 0.472 & 0.534 \\ 0.517 & 0.847 & 0.534 & 0.591 & 0.472 & 0.662 \\ 0.534 & 0.472 & 0.591 & 0.534 & 0.348 & 0.662 \\ 0.534 & 0.734 & 0.591 & 0.847 & 0.847 & 0.591 \\ 0.517 & 0.534 & 0.472 & 0.591 & 0.517 & 0.534 \\ 0.662 & 0.472 & 0.517 & 0.534 & 1.000 & 0.591 \end{matrix})$$

$$r_{02} = (\begin{matrix} 0.958 & 0.723 & 0.607 & 0.508 & 0.607 & 0.550 \\ 0.346 & 0.607 & 0.508 & 0.550 & 0.607 & 0.677 \\ 0.346 & 0.607 & 0.723 & 0.958 & 0.824 & 0.958 \\ 0.550 & 0.824 & 0.958 & 0.607 & 0.824 & 0.723 \\ 0.508 & 0.607 & 0.824 & 0.550 & 0.958 & 0.723 \\ 0.550 & 0.677 & 0.607 & 0.824 & 0.607 & 0.468 \\ 0.550 & 0.346 & 0.607 & 0.824 & 0.550 & 0.346 \\ 0.677 & 0.607 & 0.550 & 0.508 & 0.550 & 0.824 \end{matrix})$$

$$r_{03} = (\begin{matrix} 0.559 & 0.684 & 0.615 & 0.504 & 0.615 & 0.344 \\ 0.559 & 0.615 & 0.504 & 0.504 & 0.615 & 0.684 \\ 0.559 & 0.615 & 0.684 & 0.559 & 0.615 & 0.344 \\ 0.938 & 0.615 & 0.938 & 0.615 & 0.615 & 0.717 \\ 0.504 & 0.615 & 0.813 & 0.938 & 0.559 & 0.684 \\ 0.504 & 0.717 & 0.615 & 0.615 & 0.465 & 0.813 \\ 0.938 & 0.504 & 0.615 & 0.465 & 0.559 & 0.559 \end{matrix})$$

$$0.717 \ 0.813 \ 0.504 \ 0.938 \ 0.938 \ 0.813)$$

由式 7 计算关联度

$$r_1 = \sum_{k=1}^{48} p_k r_{01}(k) = 0.631, r_2 = \sum_{k=1}^{48} p_k r_{02}(k) = 0.650, r_3 = \sum_{k=1}^{48} p_k r_{03}(k) = 0.647.$$

由关联度 $r_2 > r_3 > r_1$ 可知,方案 II 与参考数列的关联度最大,即与最优方案最为接近,故方案 II 的计算机软件用户界面设计方案最优。

4 结束语

计算机软件用户界面设计的优劣涉及众多因素,这些因素最终表现为使用者对软件用户界面的主观评价。人的主观评价受已知、未知或非确知等诸多不确定因素的影响,主观评价综合了计算机软件用户界面设计中的各种影响因素,因此,该方法是一种综合评价方法。运用层次模型结构和灰色关联分析,借助于矩阵分析工具,保证了对众多的评价项目判断思维的连贯性和一致性,较好地解决了评价项目众多、多因素相互影响、无法定量描述、有主观意识活动参与、含未知或非确知信息系统的定量综合评价问题。该方法简洁明了,易于掌握,具有较高的实用价值。

参考文献：

[1] RASKIN J. The humane interface : new directions for designing interactive system[M]. Pearson Education ,Inc. 2000.

[2] 罗仕鉴 朱上上 孙守迁 . 人机界面设计[M]. 北京 : 机械工业出版社 2002.

LUO Shi-jian ,ZHU Shang-shang ,SUN Shou-qian. Human-machine interface design[M]. Beijing :China Machine Press 2004.

[3] DIX A ,FINLAY J ,GREGORY A ,et al . Human-computer interaction[M]. Beijing : Publishing House of Electrical Industry 2003.

[4] JTHOVTRUP H ,NIELSEN J. Assessing the usability of a user interface standard. <http://www.useit.com/Papers and Essays/User Interface Standard>[EB/OL]. 1991

[5] 董建明 傅利民 ,GAVRIEL S. 人机交互 :以用户为中心的设计和评估[M]. 北京 :清华大学出版社 ,2003.DONG Jian-ming ,FU Li-min ,GAVRIEL S. Human-computer interaction :user centered design and evaluation[M]. Beijing : Tsinghua University Press 2003.

[6] 许树柏 . 层次分析法原理[M]. 天津 :天津大学出版社 ,1988.

XU Shu-bai. Theory of analytical hierarchy process[M]. Tianjin : Tianjin University Press ,1988.

[7] 邓聚龙 . 灰色控制系统[M]. 武汉 :华中理工大学出版社 ,1993.

Deng Ju-long. Gray control system[M]. Wuhan :HuaZhong University of Science and Technology Press ,1993.