

机械系统人机界面匹配优度的计算方法^①

林 建^② 周一鸣 毛恩荣

(中国农业大学车辆工程学院)

摘 要 将模糊综合评判方法引入机械系统人机界面匹配优度的评价中,通过对模糊综合评判方法的分析 and 研究,提出了可操作的评价的具体步骤,并采用在标准的人机工程学实验中得到的数据,对模拟系统进行了评价和分析。

关键词 人机界面;模糊综合评判;系统评价

中图分类号 TB18

A Calculating Method of Human-machine Interface Optimal Matching Degree in Mechanical System

Lin Jian Zhou Yiming Mao Enrong

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract Fuzzy comprehensive evaluation is introduced into the calculating process of the human-machine interface optimal matching degree in mechanical system. Based on the study of fuzzy comprehensive evaluation, calculating method and process are put forward in detail. As a typical application, a virtual mechanical system is analysed with a standard ergonomics experiment and evaluated by the author's method.

Key words human-machine interface; fuzzy comprehensive evaluation; system evaluation

笔者曾运用多层次模糊综合评判的方法,提出了一种用于评价机械系统人机界面匹配合理程度的评价指标——匹配优度^[1],它可以较好地构造系统的评价模型,使之能够完整地体现评价过程中的主、客观因素所起的作用。匹配优度指的是机械系统的显示、操作界面与操作人员匹配的合理程度,它是0~1之间的一个数值,人与机器的几何界面匹配得越好其值就越接近于1。它的计算是机械系统人机界面优化匹配的核心问题,计算过程、计算结果的合理性与科学性将直接影响对机械系统的评价。本文中将采用模糊综合评判的方法计算机械系统人机界面的匹配优度。

1 模糊综合评判

综合评判是软科学的基本方法之一,在科学评判、项目评审、竞赛打分、企业分类和经济预

收稿日期:1997-05-29

①国家自然科学基金资助项目

②林 建,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)214信箱,100083

测与决策等方面有着广泛的应用^[2]。

综合评判一般采用2种方法^[3]:一种是评总分法,即将各因素的得分累加起来,根据总分的多少来决定评价目标的优劣;另一种是加权平均法,即首先赋予每个因素以固定的权重,然后将各因素得分乘以权重之后再累加。评总分法实际上是把每个因素对评判结果的影响看成是等同的,对于很多复杂问题这是不合理的,而加权平均法比简单地计算总分或平均分能更加合理地作出评判。

人们对事物的评价往往是模糊的和不确定的,当涉及多个因素时,如何作出科学的评价就成为一个关键的问题。在对机械系统人机界面的匹配优度进行评价时,所考虑的因素涉及人体、坐椅、工作台、显示器、开关、脚踏板、操纵杆和指标灯等,每个因素对系统的影响都是复杂的;因此对其中任一因素都不能简单地以好或坏进行评价,这实际上是模糊综合评判的问题。

一般地,模糊综合评判的数学模型可归纳如下^[3]:

已知因素集 $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 和评价集 $V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$, 又设对因素的权分配为 U 上的模糊子集 A , 简记为 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。式中 a_i 为第 i 个因素 u_i 所对应的权, 且一般均规定

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1$$

对第 i 个因素的单因素模糊评判为 V 上的模糊子集, 即 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$, 式中 r_{ij} 表示第 i 个因素对第 j 个评价的隶属度。于是, 单因素评判矩阵 $R = (R_1, R_2, \dots, R_n)^T$, 那么该对象的模糊综合评判 B 是 V 上的模糊子集 $B = A \cdot R$ 。

实质上 R 表示了集合 U 与 V 之间的模糊关系。根据矩阵复合运算法则, R 确定了一个模糊映射, 它把 U 上的一个模糊子集 A 映射到 V 上的一个模糊子集 B 。 A 是映射的原像, B 是映射的像。

在实际评价中, 模糊矩阵复合运算方法的选取很重要。以下介绍广义运算模糊综合评判的数学模型^[4]。

一般的模糊综合评判的运算模型为 $M(\wedge, V)$, 它的算法忽略了次要因素对总体的影响, 使评价结果丢失了许多重要的信息; 因此, 引入广义模糊“与”和“或”运算^[4]。

定义 记 $I = [0, 1]$, 称映射 $\wedge^* : I \times I \rightarrow I, (a, b) \mapsto a \wedge^* b$ 为广义模糊“与”运算, 满足:

- 1) \wedge^* 关于每个变量在 I 内连续, 单调增加;
- 2) 可换性, $a \wedge^* b = b \wedge^* a$;
- 3) 结合性, $(a \wedge^* b) \wedge^* c = a \wedge^* (b \wedge^* c)$;
- 4) 两极性, $(a \wedge^* 0 = 0, a \wedge^* 1 = 1)$ 。

称映射 $\vee^* : I \times I \rightarrow I, (a, b) \mapsto a \vee^* b$ 为广义模糊“或”运算, 满足: 上述 1)~3); 4) 两极性, $(a \vee^* 0 = a, a \vee^* 1 = 1)$ 。

定义了这 2 个运算之后, 原有的综合评判模型 $M(\wedge, V)$ 可以改为 $M(\wedge^*, \vee^*)$, 它可以导出以下 4 种模型: 主因素决定型, 记为 $M(\wedge, V)$; 主因素突出型 1 和 2, 分别记为 $M(\cdot, V)$ 和 $M(\wedge, \oplus)$; 加权平均型, 记为 $M(\cdot, \oplus)$ 。

考虑到实际运用中各因素间的复杂性, 笔者采用了多层次的模糊综合评判方法。它是将具有多个因素的系统按某些属性分为多个层次, 每一方面的单因素评价又是低一层次的多因素综合的结果。同样, 低一层次的多因素评价也可以是更低层次的多因素的综合。具体评价时先

对每个低级层次运用模糊综合评判方法进行评价,待所有的低级层次都评价完成之后,再对高一级层次进行评价,直到所有的层次都评价完毕为止。这就是评价多因素复杂系统的多层次模糊综合评判模型。具体步骤为:

- 1) 系统层次划分;
- 2) 各层次权重系数的确定;
- 3) 从低层次开始逐层进行评价;
- 4) 对评价结果进行归一化处理。

2 应用示例

按照上述的评价步骤,根据人机工程学实验的要求,选取了不同百分位的被试人员进行实验,主要内容是对一个模拟的系统(由座椅和工作台组成,见图1)进行评价。评价模型^[1]为

$$E_s(k) = \sum_i^* I_i \cdot \Omega_i \cdot \Psi_i$$

式中*表示广义模糊运算。采用5级评分制,即评价集为:(优秀,良好,中等,较差,极差)。

系统的层次关系如图2所示。

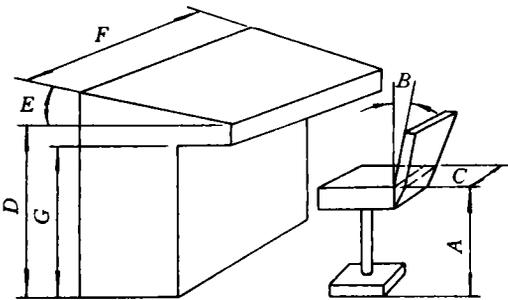


图1 人机界面模拟系统

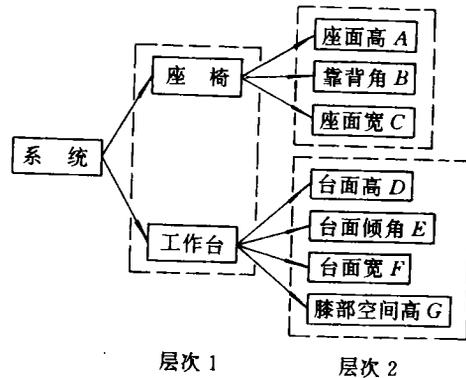


图2 系统的层次关系

2.1 各层次权重系数的确定

第1层次:座椅和工作台对系统评价的权重系数分别为 $A_1 = (0.6, 0.4)$ 。

第2层次:座椅的3个因素对座椅评价的权重系数为 $A_{21} = (0.5, 0.3, 0.2)$;工作台的4个因素对工作台评价的权重系数为 $A_{22} = (0.4, 0.3, 0.1, 0.2)$ 。

2.2 从低层次开始逐层进行评价

首先对第2层次进行评价。用s表示座椅,t表示工作台,则

$$R_{s1} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{t1} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

R_s 和 R_t 中的数据是实验统计数据,表示座椅和工作台各因素对评价集的隶属度。对座椅和工作台的评价分别为

$$B_s = A_{21} \cdot R_{s1} = (0.12, 0.34, 0.43, 0.11, 0)$$

$$B_t = A_{22} \cdot R_{t2} = (0.28, 0.37, 0.26, 0.09, 0)$$

然后对第 1 层进行评价

$$R_1 = \begin{bmatrix} R_s \\ R_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_s \\ B_t \end{bmatrix}$$

所以,对系统的评价为

$$B = A_1 \cdot R = (0.184, 0.352, 0.362, 0.012, 0)$$

2.2 对评价结果进行归一化处理

归一化处理后, $B = (0.184, 0.352, 0.362, 0.012, 0)$ 。

根据最大隶属原则^[4],系统的评价应该是“中等”,相当于 5 分制中的 3 分。如果令 5 分为 1,那么 3 分就是 0.6,根据匹配优度定义,该系统的优度是 0.6。

3 讨 论

模糊数学的方法适合于处理不确定的评价,因此用它进行机械系统人机界面匹配优度的评价较为合理。

值得注意的是,在评价过程中得到了工作台和座椅的评价结果,它们分别是“良好”和“中等”。可以看出,由于座椅在系统评价时占有重要的地位(权系数为 0.6),尽管工作台的评价为“良好”,还是导致了整体评价的下降。这实际上指出了提高系统人机界面匹配优度的解决方案。

参 考 文 献

- 1 林 建,毛恩荣,周一鸣. 机械系统人机界面匹配优度的研究. 人类工效学,1997,3(3):5~8
- 2 汪培庄,韩立岩. 应用模糊数学. 北京:北京经济学院出版社,1989. 188
- 3 楼世博,孙 章,陈化成. 模糊数学. 北京:科学出版社,1983. 172~174,176
- 4 李洪兴,汪培庄. 模糊数学. 北京:国防工业出版社,1994. 128~139,95