

系统评价指标体系与灰色模糊评价模型构建

刘维学

(渤海大学 信息科学与技术学院, 辽宁 锦州 121013)

摘要:针对社会、经济等系统大多是灰色系统,具有明显的层次复杂性、结构关系的模糊性、动态变化的随机性、指标数据的不完全性和不确定性等特点,利用灰色系统理论进行系统评价可以扩大信息源,提高评价结果的可信度。文中对灰色评价的两个关键问题展开研究。一是系统评价指标体系构建,包括指标体系的构成、指标体系结构模型、指标权重的确定、指标值的无量纲化处理、定性指标定量化等内容;二是灰色模糊评价模型构建,按评价指标的层次顺序研究了单指标模糊评价、一级灰色综合评价、多级灰色综合评价。

关键词:系统评价;指标体系;灰色理论;灰色模糊评价

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)10-0193-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.10.048

Construction of System Evaluation Index System and Grey Fuzzy Evaluation Model

LIU Wei-xue

(College of Information Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract:For the most social, economic and other systems are grey system, and have the characteristic of significant levels complexity, fuzziness of structural relationship, randomness of dynamic variety, incompleteness and uncertainty of index data. With grey system theory to evaluate the system can expand the sources information, improve the credibility of the evaluation results. In this paper, study the two key issues of the grey evaluation. One is the system evaluation index construction, including the composition of index system, the index system structure model, the determination of index weights, the dimensionless of index value and the quantitative of qualitative index. The other is grey fuzzy evaluation model construction, study the single indicators fuzzy evaluation, first-order grey comprehensive evaluation, multi-level grey comprehensive evaluation by evaluation hierarchical order.

Key words:system evaluation; index system; grey theory; grey fuzzy evaluation

0 引言

系统评价(System Evaluation)是对新开发或改建的系统,根据预定的系统目标,用系统分析的方法,从技术、经济、社会、生态等方面对系统设计的各种方案进行评审和选择,以确定最优、次优或满意的系统方案^[1]。评价是决策的基础,是系统工程领域的重要分支。进行系统评价时要遵循评价的客观性、评价方案的可比性、评价指标体系的系统性等原则。系统评价过程是对评价对象的判断过程,也是综合计算、观察和咨询等方法复合分析的过程,其本质是一个判断的处理过程。Bloom认为“在人类的认知处理过程中,评价和思考是最为复杂的两项认知活动。评价是对一定的

想法(ideas)、方法(methods)和材料(material)等做出价值判断的过程,也是运用标准(criteria)对事物的准确性、实效性、经济性以及满意度等方面进行评估的过程。综合多方面因素,评价(Evaluation)就是评价者(Evaluators)根据评价标准,对评价对象的各个方面进行量化和非量化的测量过程,最终得出可靠的并且符合逻辑的结论。

系统评价的方法很多,常用的有费用—效益分析法、关联矩阵法、关联树法、层次分析法、模糊综合评价法、灰色综合评价法。通常人们用颜色深浅来形容信息的明确程度。用“黑”表示信息未知,相应的系统称为黑色系统;用“白”表示信息完全明确,相应的系统

称为白色系统;用“灰”表示部分信息明确、部分信息不明确,介于“黑”、“白”之间,相应的系统称为灰色系统。即灰色系统研究的是部分信息明确、部分信息未知的小样本、贫信息、不确定性的系统,通过对已知信息的生成去了解认识现实世界。利用灰色系统理论去评价系统可扩大信息源,提高评价结果的可信度^[2]。文中在研究评价指标体系构建的基础上研究灰色模糊综合评价模型,为灰色系统评价提供理论方法。

1 系统评价指标体系构建

当所评价的问题为单一指标时,评价很容易进行,只需根据指标值的大小或优劣即可确定评价结果。但实际问题通常是多指标,并且指标之间存在冲突,指标值难以量化,评价结果由多个指标值共同确定,因此需要构建评价指标体系。评价指标体系是由若干个单项评价指标组成的整体。制定科学、系统、全面的指标体系,是系统评价的基础性工作。指标体系的基本要求是,能反映所要解决问题的各项目标要求,实际、完整、合理、科学,并能有关人员各部门所接受。

1.1 指标体系的构成

评价指标体系通常由大类及其小类构成,大类包含以下一些指标^[3]:

(1)政策性指标。包括国家的方针、政策、法令,以及发展规划、计划等,这对关系国计民生方面的重大项目或大型系统尤为重要。

(2)技术性指标。包括产品的性能、寿命、可靠性、安全性等,工程项目的地质条件、设备、设施建筑物、运输设施等。

(3)经济性指标。包括方案成本(有条件还应考虑生命周期成本,即包括制造成本、使用成本和维修成本等)、利润和税金、投资额、流动资金占用量、投资回收期、建设周期,以及间接收益等。

(4)社会性指标。包括社会福利、社会节约、综合发展、就业机会、污染防治、生态环境保护等。

(5)资源性指标。包括工程项目中的物资、人力、能源、水资源、土地资源的消耗和占用等。

(6)时间性指标。包括工程进度、时间节约、研制周期等。

上述六个方面是指一般可能要求考虑的指标大类。在具体条件下,可以有增减或不予考虑,以形成不同特色的指标体系。比如社会综合指标体系、部门指标体系和专题指标体系等。

1.2 指标体系结构模型

采用单一指标或几个指标对系统进行评价具有一定的片面性和主观性,通常是建立指标体系,体系泛指一定范围内或同类的事物按照一定的秩序和内部联系

组合而成的整体,只有科学合理的评价指标体系,才有可能得出科学公正的评价结论。评价指标体系结构模型如图 1 所示^[4]。

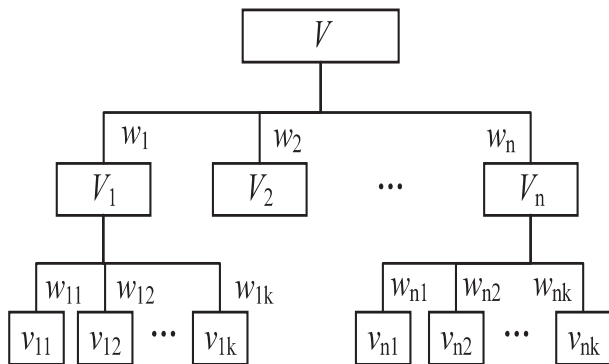


图 1 评价指标体系结构模型

指标体系构建过程中,首先要遵循指标体系构建的一般原则,即科学性原则、系统性原则、实用性原则、全面性原则、统一性原则、可比性原则、可测性原则、评价方法一致性原则;还要注重指标体系中元素的必要性,在不失全面性的情况下,尽量减少体系中指标的个数。

在图 1 中, V_i 表示第 i 个一级指标, v_{ij} 表示第 i 个一级指标的第 j 个二级指标。 w_i 表示第 i 个一级指标的权重, w_{ij} 表示第 i 个一级指标的第 j 个二级指标。每个指标其下级指标的权重和为 1,即:

$$w_1 + w_2 + \cdots + w_n = 1 \quad (1)$$

$$w_{i1} + w_{i2} + \cdots + w_{ik} = 1 \quad (2)$$

$$w_{n1} + w_{n2} + \cdots + w_{nk} = 1 \quad (3)$$

1.3 指标权重的确定

权重是一个相对概念,是指某一指标在整体评价和对上一级指标评价中的相对重要程度,通过对各评价指标在总体评价或对上一级指标评价中的作用进行区别对待,以便做出更客观的评价。权重的确定有主观经验法、主次指标排队分类法、专家调查法等^[5-6]。在此采用主次指标排队分类法与专家调查法相结合,有三个步骤。

(1)主次指标排队。即按照一定标准,对指标的重要程度进行排队。

(2)专家调查。聘请领域专家,对评价指标体系进行深入研究,并依据主次指标排队的结果独立地对评价指标估计权重,即按照排队顺序设置权重大小。

(3)进行统计处理,得到权重矩阵。

p 个专家对 m 个评价指标估计的权重值分别为:

$$w_{s1}, w_{s2}, \cdots, w_{sj}, \cdots, w_{sm} \quad (4)$$

式中, $s = 1, 2, \cdots, p; j = 1, 2, \cdots, m$ 。

p 个专家估计的权重的平均估计值为:

$$\bar{w}_j = \frac{1}{p} \sum_{s=1}^p w_{sj} \quad (j = 1, 2, \cdots, m) \quad (5)$$

估计值和平均估计值的偏差为:

$$\Delta_{sj} = |w_{sj} - \bar{w}_j| (s = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m) \tag{6}$$

对于偏差 Δ_{sj} 较大的第 j 个指标的权重估计值,再请第 s 专家重新估计 w_{sj} ,经过几轮反复,直到偏差满足一定的要求为止,最后得到一组指标权重的平均估计修正值 $\bar{w}_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 。

确定指标权重的结果用向量表示为:

$$A = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m) \tag{7}$$

且满足归一性和非负性条件,即:

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad w_j \geq 0 \tag{8}$$

1.4 指标值的无量纲化处理

各评价指标的计量单位不同,因而无法直接进行比较。无量纲化的目的是消除不同指标在单位、量级上的差异。常用的方法包括:均值法、向量规范化(标准化)、一般线性变换法、归一化处理法、极值处理法、标准差标准化法(标准化处理法)、初值化法等^[7-8]。文中采用标准差标准化法。

对于任一指标,其均值为:

$$\mu_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij} \tag{9}$$

标准差(也称为标准偏差或实验标准差)为:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \mu_j)^2} \tag{10}$$

无量纲化的标准化值为:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \tag{11}$$

经标准化后,指标的均值为 0,方差为 1,消除了量纲和数量级的影响,同时也消除了指标变异程度上的差异,使不同量纲的指标间具有可比性。

由于存在负值,可运用线性函数转换进行归一化处理:

$$z_{ij} = \frac{y_{ij} - \text{MinValue}}{\text{MaxValue} - \text{MinValue}} \tag{12}$$

式中,MaxValue、MinValue 为该列的最大值和最小值。

1.5 定性指标量化

进行综合评价时,有些指标是定性的,必须将定性指标量化后才能进行评价^[9]。常用的量化方法有:分级打分法、体操计分法、专家评分法、两两比较法、连环比率法、模糊向量法。在此运用分级打分法,先分级,然后对每级赋予一个分值。如果分级较多时,由优到劣次序,可以是“1 级、2 级、3 级、4 级、5 级、6 级、7 级”,每级的定量分值分别是“7、6、5、4、3、2、1”;如果分级较少时,可以是“优、良、中”,分值分别是“3、

2、1”。分值的大小要根据实际情况而定。

2 灰色模糊评价模型构建

数学模型是针对评价系统的特征或数量依存关系,采用数学语言,概括地或近似地表述出的一种数学结构,是进行评价的理论基础。灰色模糊综合评价通常要进行单指标模糊评价、一级灰色综合评价、多级灰色综合评价。

2.1 单指标模糊评价

从一个因素出发,确定评价对象对评价集元素的隶属度。需要建立一个从 U 到 $F(V)$ 的模糊映射:

$$f: U \rightarrow F(V), \forall u_i \in U, u_i \mapsto \underline{f}(u_i) = \frac{r_{i1}}{v_1} + \frac{r_{i2}}{v_2} + \dots + \frac{r_{im}}{v_m} \tag{13}$$

式中, r_{ij} 表示 u_i 属于 v_j 的隶属度。

隶属度^[10],又称隶属函数值或模糊关系系数,是描述事物模糊性的关键。确定方法往往依赖于人的判断,在理论上没有普遍适用的、完全严格——对照的标准方法。

确定隶属度通常应遵循以下几条原则:要充分利用人们长期积累的实践经验,认真倾听专家意见;要针对事物模糊性的不同情况,采用不同方法;先进行粗略估算,再逐步修正和完善,使主观和客观逐步趋于一致;实践是确定、检验和调整隶属函数的依据,最终要以符合客观实际为标准。

确定隶属度的方法通常有:概率统计法、模糊统计试验法、专家评定法、历史经验法、预定 - 修改 - 完善法、二元对比排序法、分布法等。

由 $f(u_i)$ 可得到单因素评价集:

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}) \tag{14}$$

根据单因素评价集,得出定性的评价结果。

2.2 一级灰色综合评价

单指标模糊评价得出的是一个评价指标的评价结果。由评价指标体系结构模型可知,一个上层指标通过若干个下层指标评价。一级评价是指由最底层指标评价倒数第二层指标。评价步骤如下^[11-12]:

第 1 步:确定最优指标集 V^* 。

最优指标集是从各评价对象的同一指标中选取最优的一个,各评价指标的最优值组合称为最优指标集,是各评价对象比较的基准。最优指标集表示为:

$$V^* = [v_1^* \quad v_2^* \quad \dots \quad v_m^*] \tag{15}$$

式中, m 为评价指标的数量。

第 2 步:确定原始评价矩阵。

最优指标集和各评价对象的指标组成原始评价矩阵^[13]:

$$D = \begin{bmatrix} v_1^* & v_2^* & \cdots & v_m^* \\ v_1^1 & v_2^1 & \cdots & v_m^1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_1^n & v_2^n & \cdots & v_m^n \end{bmatrix} \quad (16)$$

式中, m 为决策指标数量; n 为可选方案数量; v_k^* 为所有可选方案中第 k 个指标的最优值; v_k^i 为第 i 个方案中第 k 个指标的原始值。

第 3 步: 确定评价矩阵。

将原始评价矩阵经过无量纲化处理和定量化处理后, 以最优指标集为参考序列, 各评价对象的指标为比较序列。对于第 i 个评价指标与最优指标集的第 k 个最优指标, 两极最小差为:

$$TOW_{\min} = \min_i \min_k |v_k^* - v_k^i| \quad (17)$$

两极最大差为:

$$TOW_{\max} = \max_i \max_k |v_k^* - v_k^i| \quad (18)$$

令 ρ 为分辨系数, 在 $[0, 1]$ 中取值。则灰色关联系数为:

$$L_i(k) = \frac{TOW_{\min} + \rho TOW_{\max}}{|v_k^* - v_k^i| + \rho TOW_{\max}} \quad (19)$$

各评价对象与最优指标的关联系数组成评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} L_1(1) & L_2(1) & \cdots & L_n(1) \\ L_1(2) & L_2(2) & \cdots & L_n(2) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ L_1(m) & L_2(m) & \cdots & L_n(m) \end{bmatrix} \quad (20)$$

第 4 步: 灰色综合评价。

由评价矩阵 R 和权重矩阵 A , 可求出用灰色关联度表示的评价结果:

$$B = A \times R \quad (21)$$

其中:

$$b_i = \sum_{k=1}^m a_k \cdot L_i(k) \quad (22)$$

灰色关联度越大, 说明该方案越接近于最优决策, 因此可根据关联度的大小提出各评价对象的优劣顺序。

2.3 多级灰色综合评价

对于评价指标体系结构模型, 从上到下分别为第一层指标、第二层指标……即 V_1, V_2, \dots, V_n 为第一层指标, $v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1k}$ 和 $v_{n1}, v_{n2}, \dots, v_{nk}$ 为第二层指标……对于具体的评价系统, 当指标只有一层且仅有一个时, 只进行单指标模糊评价, 其结果即为系统评价结果; 当指标只有一层且有多多个时, 先进行单指标模糊评价, 再进行一级灰色综合评价, 其结果即为系统评价结果; 当指标有二层且每层有多多个指标时, 先对第二层指标进行单指标模糊评价, 再由第二层指标对第一层指

标进行一级灰色综合评价, 再由第一层指标的一级灰色综合评价结果对第二层指标进行二级灰色综合评价, 评价结果即为系统评价结果……以此类推, 当指标有 n 层时, 要进行 n 级灰色综合评价。将每一个 V_i 作为一个评价指标, 用 B_i 作为它的单指标评价集, 又可构成评价矩阵 $R = [B_1 \ B_2 \ \cdots \ B_S]^T$ 。于是有二级灰色综合评价 $B = A \times R$ 。二级灰色综合评价过程如图 2 所示^[11]。

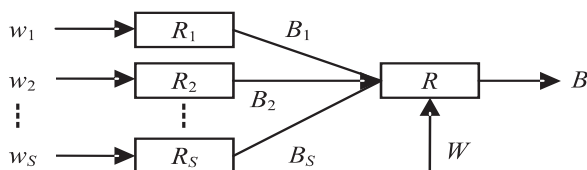


图 2 二级灰色综合评价过程

3 结束语

指标体系构建和评价模型构建是系统评价领域里两项最重要的工作, 指标体系构建是前提和基础, 评价模型构建是归宿和结果, 二者缺一不可。系统评价指标体系构建因具体问题而不同, 需要处理好以下问题:

(1) 指标大类问题, 指标大类和重要程度对评价结果影响很大;

(2) 指标数量问题, 指标范围越宽, 指标数量越大, 方案差异越明显;

(3) 各评价指标间的相互关系问题, 指标间要尽量保持独立, 互不影响;

(4) 指标体系的层次, 层次多则评价准确, 层次少则评价容易, 要在二者间做出取舍。

系统模型是对现实系统的抽象或模仿, 由反映系统本质或特征的主要因素构成, 集中体现了这些主要因素之间的关系。系统模型通常可分为物理模型、文字模型和数学模型。数学模型是针对参照某种事物系统的特征或数量依存关系, 采用数学语言, 概括或近似表述出的一种数学结构, 这种数学结构是借助于数学符号刻画出来的某种系统的关系结构。在进行系统评价时运用数学模型的优点是解决对客观现象进行试验的困难、比较容易操作、规范且节约成本、可以揭示客观对象本质。社会、经济等系统大多是灰色系统, 具有明显的层次复杂性、结构关系的模糊性、动态变化的随机性、指标数据的不完全性和不确定性。由于灰色系统的普遍存在, 因此文中的研究内容具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 百科名片. 系统评价[EB/OL]. 2012-12-15. <http://baike.>

(下转第 200 页)

(3) 研究人脑的信息处理过程;

(4) 研究人脑中知识的获取与遗忘机理。

以认知科学为基础,在产品的信息艺术设计中涉及到更多的计算机专业技术,主要有虚拟感知与情感计算^[13-14]等。例如沃尔沃开发的“驾驶员警示系统”,能够记录汽车在道路上的行驶情况并向注意力分散的司机发出警示,避免或减少疲劳驾驶事故的发生。同样,英国诺森比亚大学的设计师也在进行类似研究,比如通过驾驶室内的感应器收集驾驶员的状态信息,并通过声、光装置适时调整驾驶员的状态,通过认知科学的展开,其设计理念更具有艺术性。

4 结束语

信息艺术作为一种新的艺术形式,在产品中的应用正在不断增加,信息艺术通过声、光、电等多媒体技术运用,使产品具有更好的宜人性、易用性、交互性和体验性。

产品设计是以人的需求为出发点,并以满足人的需求为最终目的。信息艺术的运用可以提高产品的可用性,在产品的信息艺术设计中,综合考虑以用户为中心的设计、数字化技术和认知科学三大技术,能够提高产品的互动性、智能化,并且随着科学技术的发展和信息技术运用深度的扩展,人工智能和智能化产品设计与艺术相结合,能够使产品在更深的心理层面上满足用户的需求。

参考文献:

[1] 杜鹤民,余隋怀,初建杰,等.航空智能计算机辅助训练系

(上接第 196 页)

baidu.com/view/1135508.htm.

[2] 金玲玲,汪文俊,王喜凤.大学生综合素质的灰色模糊聚类评价模型[J].计算机技术与发展,2012,22(5):109-112.

[3] 豆丁网.社会科学研究方法[EB/OL].2012-12-15.http://www.docin.com/p-535898347.html.

[4] Ren Y C, Xing T, Liu D C. Establishment of comprehensive capacity evaluation index system on system analyst[C]//Proc of 10th Conference on Man-machine-engineering. USA: Scientific Research Publishing, 2010:43-47.

[5] 李 华,李海良,王湘桂.定量评价模型在矿山安全评价中的应用[J].金属矿山,2008,43(6):123-125.

[6] MBA 智库百科.权重的设定方法[EB/OL].2012-12-01.http://wiki.mbalib.com/wiki/权重.

[7] 张晓明.决策分析中的数据无量纲化方法比较分析[J].闽江学院学报,2012,33(5):21-25.

[8] 叶宗裕.关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方

法的构建方法[J].计算机集成制造系统,2011(1):69-76.

[2] 郝伯特·西蒙.人工科学[M].武夷山,译.北京:商务印书馆,1987.

[3] 郑建启,胡 飞.艺术设计方法学[M].北京:清华大学出版社,2009.

[4] 李砚祖.大趋势:艺术与科学的整合[J].文艺研究,2001(1):98-112.

[5] 周淑秋,郭新宇,雷 蕾.黄瓜生长可视化系统的设计与实现[J].计算机技术与发展,2007,17(1):227-228.

[6] 李 静,李世国.从交互设计的视角探索人与产品的情感交流[J].包装工程,2008,29(9):151-153.

[7] Lockwood T. Design thinking: integrating innovation, customers express and brand value[M]. New York: Design Management Institute, 2009.

[8] 李世国,华梅立,贾 瑞.产品设计的新模式--交互设计[J].包装工程,2007,28(4):90-92.

[9] 董建明,傅利民, Salvendy G. 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.

[10] 唐纳德·A·诺曼.设计心理学[M].北京:中信出版社,2010.

[12] Alben L. Quality of experience[J]. Interactions, 1996, 3(3): 11-15.

[13] 陈 鹰,杨灿军.人机智能系统理论与方法[M].杭州:浙江大学出版社,2006.

[14] Millar R J, Hanna J R P, Kealy S M. A review of behavioral animation[J]. Computer and Graphics, 1999, 23(1): 127-143.

[15] Peters C, Osullivan C. Synthetic vision and memory for autonomous virtual humans[J]. Computer Graphics Forum, 2002, 21(4):743-752.

法的选择[J].浙江统计,2003,22(4):24-25.

[9] 邹珊刚,唐炎钊.投资项目的灰色综合评价及应用[J].华中理工大学学报,1999,27(7):92-94.

[10] Ang K K, Quek C. Supervised pseudo self-evolving cerebellar algorithm for generating fuzzy membership functions[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(3): 2279-2287.

[11] 吴祈宗.系统工程[M].北京:北京理工大学出版社,2006.

[12] Baskaran V, Nachiappan S, Rahman S. Indian textile suppliers' sustainability evaluation using the grey approach[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 135(2): 647-658.

[13] Zhou J G, Wang Y X, Li B. Study on optimization of denitration technology based on grey-fuzzy combined comprehensive evaluation model[J]. Systems Engineering Procedia, 2012, 4(1):210-218.

系统评价指标体系与灰色模糊评价模型构建

作者：[刘维学, LIU Wei-xue](#)

作者单位：[渤海大学 信息科学与技术学院, 辽宁 锦州, 121013](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

Computer Technology and Development

ISTIC

年, 卷(期):

2013(10)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201310048.aspx