

基于方差的最优组合赋权模型在网络信息资源评价中的应用

江正华*

(南京大学 数学系, 南京 210093)

(* 通信作者电子邮箱 jazera@nju.edu.cn)

摘要:针对网络信息资源自由开放、广泛存取、分布共享的特点,对网络空间中处于关键地位的信息节点——网站进行评价,不仅有助于改善网站自身的建设,而且更可促进整个网络信息资源的良性发展。依据最小方差原理,将运用熵权模糊综合评判法求得的客观权重与运用层次分析法求得的主观权重通过最优化组合计算出组合权重,对单一模型只确定出单纯的主观或客观权重进行了修正;再通过专家调查采集指标得分,进而构建出基于方差的最优组合赋权网站评价模型,使评判结果更具科学、合理。最后应用该模型对南京大学数学系网站进行实证评析,并获得日后网站重构或建设方面的一些启示。

关键词:网站评价;评价指标体系;最优组合赋权;方差;分配系数;熵权;层次分析法

中图分类号: TP393.09;N945.16 **文献标志码:** A

Application of variance-based optimal combined weight process in evaluating Internet information resources

JIANG Zhenghua*

(Department of Mathematics, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093, China)

Abstract: In view of the essential characteristics of free openness, diffused access and distributed share from Internet information resources, a scientific evaluation of websites that are important information nodes in network space is helpful not only to improve their construction quality but also to obtain better development of network resources. Based on the minimum variance principle, a new optimal combined weight process was proposed to determine the combined weight which combined the objective weight based on entropy weight fuzzy synthetic evaluation and the subjective weight based on analytic hierarchy process. The objective weight or the subjective weight which was only determined by a single weighting model, was amended. The scores of every index were calculated by the methods of expert investigation and statistical analysis. The combined weighting model can get a more scientific and reasonable result of decision-making for websites evaluation. In the end, the website of the Department of Mathematics at Nanjing University was taken as an example to illustrate the proposed model. Some direct suggestions were put forward to optimize website reconstruction in future.

Key words: website evaluation; evaluation indicator system; optimal combined weight process; variance; distribution coefficient; entropy weight; Analytic Hierarchy Process (AHP)

0 引言

互联网信息资源以急剧增长、广泛存取、开放共享、动态变化为其主要特征。中国互联网络信息中心(China Internet Network Information Center, CNNIC)数据^[1]显示,作为网络空间中主要信息载体的网页网站发展强劲,截至2012年底,中国网站数量增长率为16.8%,网页数增速更是高达41.7%,单个网站的平均网页数和单个网页的平均字节数均以21.4%和10.2%的增速进一步走高,主要骨干网络国际出口带宽正以36.7%的年增长率大幅攀升,显示出互联网信息资源得到了全面提升和丰富,基于互联网的信息服务带来了信息生产、存取、传播、消费方式的根本性变化。网络信息组织^[2]、网络信息空间构建^[3]以及Web站点建设日益成为行家关注的焦点。网络俨然已成为人们获取信息的最主要渠道,然而因其自由性、开放性、灵活性、分布性、共享性使得对资源的控制变得尤为困难。正如国外学者指出的:网络的最大优势,同时也

是其薄弱之处^[4]。网络信息虽丰富、有效,却缺乏组织和质量控制,呈现着内容上混杂无序、盲目重复、大量冗余、质量上无标准可循、良莠不齐的发展状态,直接给用户有效利用Internet信息资源带来很大障碍——网络用户无一不感觉到这种由信息过载(information overloaded)所引发的困惑和无所适从。为此对整个网络空间中作为核心信息节点的网站进行科学合理的综合评价显得尤为重要。网站本身并不是一个能够完全自我调节的系统,建立一套行之有效的体系模型对其进行评价,不仅对优化网站信息架构,改进网站性能,改善网站内容的组织、构建和呈现,提升网站服务有指导意义,更可以促进整个网络信息资源的良性发展。

在笔者所见到的研究范围内归纳得知,评价指标的选取和指标权重的确定(依赖于排序模型)仍是国内外有关学者研究网站评测的重点。本文在大量研究并借鉴现有成果的基础上,综合了专家调查、层次分析^[5]与熵权模糊综合评判^[6-7],着重运用概率统计中的方差原理构建出基于方差的最优组合

赋权评价模型,并选取笔者组织开发的新版南京大学数学系网站(2010年10月正式上线运行至今。http://njumaths.nju.edu.cn)为样本网站进行实证分析。

1 基于方差原理的最优组合赋权评价模型

1.1 熵权模糊综合评判法确定客观权重

1.1.1 基于熵的权值的计算方法

熵(Entropy)是信息论中标度不确定性的量,是系统无序程度的度量,是一个无量纲量。由于信息的不断获得意味着不确定性的不断减少或消除,故信息量越大时,不确定性就越小,信息熵就越小,信息的无序程度就越小,相应信息的效用值也就越大;反之,信息量越小时,不确定性就越大,信息熵就越大,信息的无序程度就越高,相应信息的效用值也就越小^[8]。据此将信息熵对应到系统评价中来。设有 n 个评价指标构成评价指标集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, m 个评判对象构成评判对象集 $O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\}$, 记 O 在 U 下的所有指标属性值构成的原始指标数据矩阵(又称原始决策矩阵) $A = (a_{ij})_{m \times n}$, 其中 a_{ij} 表示第 i 个对象的第 j 个指标的属性值。对于某项指标 u_j , 全部 m 个指标值 $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}$ 的差异越大,关于指标 u_j 提供的信息量就越大, u_j 的信息熵就越小, u_j 的效用值也就越大,相应指标 u_j 对评价结果的贡献就越大^[8], 则越应给予较大的指标权重;反之,若某项指标的 m 个指标值全部相等,则可以认为该指标在综合评价中不起作用。因此,可根据各个指标的指标值差异程度,利用数学特性很好的信息熵这一工具计算各个指标的权重值。具体计算步骤表述如下:

1) 对评价指标集 U 中每个指标 u_j 的全部指标值 $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}$ 进行归一化处理,从而得到该指标 u_j 下评判对象 o_i 的指标值比重(亦称特征比重) p_{ij} , 即

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

2) 计算指标 u_j 的规范化的信息熵值为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

其中: $1/\ln m > 0$, 当 $p_{ij} = 0$ 时规定 $p_{ij} \ln p_{ij} = 0, 0 \leq e_j \leq 1$ 。

3) 计算指标 u_j 的信息熵权重值(简称熵权值)为:

$$\beta_j = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)}; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中 $g_j = 1 - e_j$ 表示指标 u_j 的信息效用值。由式(2)知,对于给定的 j , 当指标值 $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, m)$ 的差异性越小,信息熵 e_j 则越大;直至当 a_{ij} 全部相等即 $p_{ij} = 1/m (i = 1, 2, \dots, m)$ 时,则 $e_j = e_{\max} = 1$, 此时指标 u_j 就不会对评判结果产生任何影响,亦即指标 u_j 的信息评价效用值为 0。因此,指标 u_j 的信息效用值可用 u_j 的信息熵 e_j 与 1 的差值 $g_j = 1 - e_j$ 来度量。

1.1.2 熵权模糊综合评判法导出客观权重

熵权模糊综合评判法^[9]是利用熵权值对评价指标的权重进行确定,使权重更趋客观、更为合理。其步骤详述如下:

第 1 步 确定系统综合评价中的一级评价指标因素集 $U = \{u_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ 和二级评价指标因素集 $V_i = \{v_{ik} | k = 1, 2, \dots, l_i\}, i = 1, 2, \dots, n$ 。为便于下文叙述,记 $l =$

$$\sum_{i=1}^n l_i, V = \bigcup_{i=1}^n V_i = \{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1l_1}, v_{21}, \dots, v_{2l_2}, \dots, v_{n1}, \dots,$$

$v_{nl_n}\} = \{v_i | i = 1, 2, \dots, l\}$; 并记 U 层表示一级指标因素集所在的层次, V 层表示二级指标因素集所在的层次, G 层为总目标层。

第 2 步 建立对评价指标进行定性评判的语言评估标度(又称决策评语集) $S = \{s_j | j = 1, 2, \dots, m\}$, s_j 表示第 j 个语言变量(又称决策评语)。

第 3 步 进行层次单排序:从最底层向最高层逐层推进,确定每一层中各因素相对于紧邻从属的上一层某一因素的相对重要性。方法如下:

1) 首先对每个 $i (i = 1, 2, \dots, n)$, 评定 V_i 中每个因素 $v_{ik} (k = 1, 2, \dots, l_i)$ 对于各评语 $s_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 的隶属程度,得到相应的模糊评判矩阵:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{11}^{(i)} & r_{12}^{(i)} & \dots & r_{1m}^{(i)} \\ r_{21}^{(i)} & r_{22}^{(i)} & \dots & r_{2m}^{(i)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{l_i 1}^{(i)} & r_{l_i 2}^{(i)} & \dots & r_{l_i m}^{(i)} \end{bmatrix} = (r_{kj}^{(i)})_{l_i \times m}; i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中: R_i 表示 V_i 中所有二级指标 $v_{ik} (k = 1, 2, \dots, l_i)$ 对于所属一级指标 u_i 的模糊评判矩阵, $r_{kj}^{(i)}$ 则表示二级评价指标因素集 V_i 中的第 k 个评价因素 v_{ik} 对第 j 个评语的隶属度,其计算公式如式(4)所示:

$$r_{kj}^{(i)} = \frac{d_{kj}^{(i)}}{d_k^{(i)}}; k = 1, 2, \dots, l_i; j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

其中: $d_{kj}^{(i)}$ 表示对 V_i 中的第 k 个评价因素 v_{ik} 作出第 j 个评语的决策专家人数, $d_k^{(i)}$ 表示参与对 V_i 中的第 k 个评价因素 v_{ik} 进行评定的专家总人数。

2) 对于每个给定的 $i (i = 1, 2, \dots, n)$, 因 1) 中模糊评判矩阵 R_i 满足行归一化,故令 R_i 的每一行向量 $(r_{k1}^{(i)}, r_{k2}^{(i)}, \dots, r_{km}^{(i)}) (k = 1, 2, \dots, l_i)$ 的分量 $r_{kj}^{(i)} (j = 1, 2, \dots, m)$ 对应等于式(2)中的 p_{ij} ($i' = 1, 2, \dots, m; j' = 1, 2, \dots, l_i$), 并按式(2)、(3)计算得出 V_i 中二级指标 $v_{ik} (k = 1, 2, \dots, l_i)$ 对其所属一级指标 u_i 的单排序权值 $\beta_i = (w_1^{(i)}, w_2^{(i)}, \dots, w_{l_i}^{(i)})$ 。

3) 利用矩阵乘法计算 $Z_i = \beta_i R_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。令

$$R = (r_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中: R 表示 U 层各因素对于所属上一层总目标的模糊综合评判矩阵; r_{ij} 则表示一级评价指标因素集 U 中的第 i 个评价因素 u_i 对第 j 个评语的隶属度:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^{l_i} w_k^{(i)} r_{kj}^{(i)}; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

4) 令 3) 中模糊综合评判矩阵 R 的每一行向量 $(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}) (i = 1, 2, \dots, n)$ 的分量 $r_{ij} (j = 1, 2, \dots, m)$ 对应等于式(2)中的 p_{ij} ($i' = 1, 2, \dots, m; j' = 1, 2, \dots, n$), 并按式(2)、(3)计算得出 U 中一级指标 $u_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 对其所属的总目标 G 的单排序权值 $\beta = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

第 4 步 进行层次总排序。

由第 3 步已知 V 层因素集对其上一层 U 层因素集中单因素的排序权值 $\beta_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 以及 U 层因素集对于总目标 G 的排序权值 β , 则 V 层因素集中各因素对总目标 G 的综合权

重可从最高层向下一层逐层合成,如此便可推算出所有层次相对于目标层的综合权重。二级指标因素集 V_i 中的第 k 个指标 v_{ik} 对总目标 G 的总排序权重 w_{ik}^* 可按式(7)计算:

$$w_{ik}^* = w_i w_k^{(i)}; i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, l_i \quad (7)$$

所以系统评价中最底层各因素对最高层总目标进行层次总排序的权重向量为 $\beta^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_l^*)$ 。

1.2 层次分析法确定主观权重

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)^[9] 是一种将定性判断与定量建模相结合,对复杂问题进行分层次的、拟定量的、规范化的处理并在处理过程中加入一致性检验的多维系统决策与分析方法。其步骤详述如下:

第 1 步 根据被评系统如网站的目标分解出系统的组成因素并按因素间的隶属关系建立有序的递阶层次结构。

假设被评系统最终确定分解为三个层次:评价的总目标记为目标层 G ,一级评价指标因素集 $U = \{u_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ 所在层次记为准则层 U ,二级评价指标因素集 $V_i = \{v_{ik} | k = 1, 2, \dots, l_i\} (i = 1, 2, \dots, n)$ 所在层次记为方案层 V 。

第 2 步 依据指标体系的递阶层次结构,构造两两比较判断矩阵,并进行层次单排序。AHP 中单排序向量可用特征向量法^[9]、方根法^[7]、和积法^[10]、最小二乘法^[11] 等求得。这里采用特征向量法求解,见图 1。

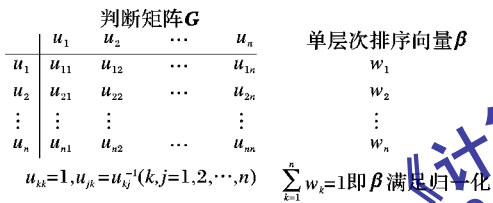


图 1 准则层 U 对目标层 G 的判断矩阵 G 、单排序向量 β

类似地,分别建立矩阵 U_1, U_2, \dots, U_n , 则 U_i 是 V 层因素集 V_i 中各因素对 U 层准则 u_i 的判断矩阵,记为 $U_i = (v_{ij}^{(i)})_{l_i \times l_i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 其中 $v_{kk}^{(i)} = 1, v_{jk}^{(i)} = 1/v_{kj}^{(i)} (k, j = 1, 2, \dots, l_i)$ 。由判断矩阵 U_i 计算出 V_i 中各因素对上一层准则 u_i 的单层次排序向量 $\beta_i = (w_1^{(i)}, w_2^{(i)}, \dots, w_{l_i}^{(i)})$ 且 β_i 满足归一化。

第 3 步 针对第 2 步中建立的每个判断矩阵需做一致性检验,以保证所求得的排序权重在逻辑上合乎传递性要求。不失一般性,笔者只对判断矩阵 G 进行一致性检验。

1) 设 λ_{\max} 为判断矩阵 $G = (u_{ij})_{n \times n}$ 的最大特征根,计算相应于判断矩阵 G 的一致性指标 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 。

2) 查 RI 取值表可得平均随机一致性指标 RI 。

3) 计算随机一致性比率 $CR = CI/RI$ 。当 $CR < 0.10$ 时,认为 U 层相对于 G 层所求得的权重向量 $\beta = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 具有满意一致性,也称判断矩阵 G 具有满意一致性。若 $CR = 0$, 则称其具有完全一致性;否则,须对矩阵 G 的一致性进行修正^[12],直至满足一致性比率要求为止。

第 4 步 层次总排序及其一致性检验。

截止第 3 步,已得到方案层 V 各因素相对于上一层某准则以及准则层 U 各因素相对于上一层总目标的单排序权重。接下来,将单层权重逐层合成以得到最底层(方案层 V) 各因素相对于最高层(目标层 G) 的综合权重:

$$w_{ik}^* = w_i w_k^{(i)}; i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, l_i \quad (8)$$

所以层次总排序的权重向量为 $\beta^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_l^*)$ 。

层次总排序的随机一致性比率为:

$$CR^* = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot CI_i) + CI}{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot RI_i) + RI}$$

其中 CI, RI 与 CI_i, RI_i 分别为相应于判断矩阵 G 与 U_i 的一致性指标、平均随机一致性指标。若 $CR^* < 0.10$, 则认为层次总排序后的结果也具有满意一致性。

第 5 步 为进一步综合多位参评专家意见,令

$$w_i^{**} = \frac{\sum_{r=1}^s (\lambda_r \cdot w_i^{*(r)})}{\sum_{r=1}^s \lambda_r}; i = 1, 2, \dots, l \quad (9)$$

其中: s 表示参与评价的专家人数, λ_r 表示第 r 位专家的权重, $w_i^{*(r)}$ 为式(8)中的第 i 个权重值,表示第 r 位专家对方案层 V 中第 i 个因素给出的评价权重。则 $\beta^{**} = (w_1^{**}, w_2^{**}, \dots, w_l^{**})$ 为综合了 s 个专家评价的总排序向量。

1.3 基于专家调查确定评价指标得分

首先,将用于对评价指标进行定性评判的评语集(评价等级集) $S = \{s_j | j = 1, 2, \dots, m\}$ 数量化,具体方法为:以常见的百分制或十分制对每个评语数量化打分,得到一组评语量化值构成的集合,记为评分集 S' 。

接着,设定参评专家集 $T = \{1, 2, \dots, T\}$,即在调查过程中固定 T 个专家,并用 $1, 2, \dots, T$ 予以编号。对每个专家均进行 M 次问卷调查,每次调查时要求每个专家对被评系统的最底层即方案层因素集 $V = \{v_i | i = 1, 2, \dots, l\}$ 中各指标以评分集 S' 中的分值评价打分。以 $p_{ij}^{(k)}$ ($j = 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, \dots, T$) 表示评价指标 v_i 在第 j 次第 k 份问卷调查中的得分。

情形一 在专家权重同等的情况下,则 v_i 在第 j 次调查中的得分:

$$p_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^T p_{ij}^{(k)}}{T}$$

进而 v_i 的最终得分为:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^M p_{ij}}{M} = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^T p_{ij}^{(k)}}{MT}$$

情形二 考虑到不同专家的权重差异,设 $\lambda_k (k = 1, 2, \dots, T)$ 表示第 k 位专家的权重,则 v_i 在第 j 次调查中的得分:

$$p_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^T (p_{ij}^{(k)} \cdot \lambda_k)}{\sum_{k=1}^T \lambda_k}$$

进而 v_i 的最终得分为:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^M p_{ij}}{M} = \frac{\sum_{j=1}^M (\lambda_k \cdot \sum_{k=1}^T p_{ij}^{(k)})}{M \cdot \sum_{k=1}^T \lambda_k}$$

1.4 依据最优化理论和方差原理确定组合权重

最优化理论主要研究数学中某类问题的最优解,为确定评价指标的权重值提供了一种思路和方法。最优组合赋权法就是分析和研究在具有 m 个评判对象、 n 个评价指标,同时有 T 个决策专家参与的群决策模型中将几种单一求解模型得出

的权重值进行协调取优的一种方法^[8]。

现综合 1.1 节中基于熵权模糊综合评判法求解客观权重模型和 1.2 节中基于 AHP 求解主观权重模型的特点,不难看出,这两种模型的适用条件和求解步骤是相当协调、一致的。在此笔者假定同等条件下来考虑最优组合赋权法。设最优组合权重为 $\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_l)$,不失一般性,令 $\tilde{w}_t = \lambda w_t^* + \eta w_t^{**} (t = 1, 2, \dots, l)$,其中 w_t^* 与 w_t^{**} 分别取自式(7)与式(9),而 \tilde{w}_t 是客观权重 w_t^* 与主观权重 w_t^{**} 的线性组合。显然可设 $\lambda, \eta \geq 0$ 且满足归一化约束条件 $\lambda + \eta = 1$ 。最优组合赋权法的关键就是如何确定分配系数 λ 与 η 的值。

令 $x_t = (\lambda w_t^* + \eta w_t^{**}) p_t (t = 1, 2, \dots, l)$,记 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$ 。依据概率论,可得被评系统的数学期望(均值):

$$\bar{x} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l x_i = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l [(\lambda w_i^* + \eta w_i^{**}) p_i]$$

我们知道,数学期望越大,则被评系统的评价越优。进一步考察被评系统的方差:

$$D = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^l x_i^2 - \sum_{i=1}^l \bar{x}^2 \right) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l x_i^2 - \bar{x}^2 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l [(\lambda w_i^* + \eta w_i^{**}) p_i]^2 - \left\{ \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l [(\lambda w_i^* + \eta w_i^{**}) p_i] \right\}^2$$

由于方差 D 衡量的是实际取值与期望值(均值)的偏离程度,方差越小,表明被评系统的评价越优。为了更加客观地反映被评系统的真实情况,被评系统的方差 D 应尽可能地小。故需要在满足约束条件 $\lambda + \eta = 1$ 与 $\lambda, \eta \geq 0$ 下使 D 最小,即等价于求解下面的最优化问题:

$$\min D = \min \left\{ \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l [(\lambda w_i^* + \eta w_i^{**}) p_i]^2 - \left(\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l [(\lambda w_i^* + \eta w_i^{**}) p_i] \right)^2 \right\}$$

$$\text{s. t. } \lambda + \eta = 1 \\ \lambda \geq 0, \eta \geq 0$$

上述最优化模型可利用 Matlab 编程求解,设求得的最优解为 λ^* 与 η^* ,最终得到层次总排序的最优组合权重为

$$\tilde{w}_t^* = \lambda^* w_t^* + \eta^* w_t^{**}; t = 1, 2, \dots, l \quad (10)$$

1.5 计算被评系统的综合评判值

将评价指标总排序后得到的最优组合权重向量 $\tilde{W}^* = (\tilde{w}_t^*)_{1 \times l}$ 与指标的得分向量 $P = (p_t)_{1 \times l}$ 按式(11)作向量内积后,便可得到被评系统的综合评判值 E :

$$E = \tilde{W}^* \cdot P^T = \sum_{i=1}^l (\tilde{w}_i^* \cdot p_i) \quad (11)$$

1.6 最优组合赋权评价模型的算法流程

综合了 AHP 和熵权模糊综合评判法的最优组合赋权评价模型实施求解的流程如图 2 所示。

1) 根据决策问题的类型、特点和要达到的总体目标分解出问题的组成因素,并按因素间的隶属关系将因素层次化,自顶向下分层构建递阶层次结构,建立一套科学、完整且可测的评价指标体系。

2) 选用基于熵权模糊综合评判的客观评价法,确定因素集和评语集,构造模糊评判矩阵,进行层次单排序、层次总排序,最终求得客观权重值。

3) 选用基于 AHP 的主观评价法,在已确定的因素集上构造两两比较判断矩阵,进行层次单排序、层次总排序,最终求得主观权重值。

4) 依据概率统计理论,遵循被评系统的方差尽可能小的原则建立最优组合赋权求解模型。用 Matlab 编程求出最优组合权重。

5) 将最优组合权重与对应的指标得分进行线性加权,得到被评系统的综合评判值。以此分析评判结果并做出决策。

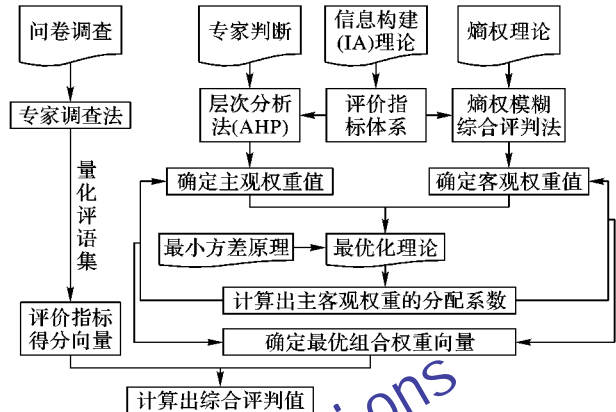


图 2 最优组合赋权评价模型的算法流程

2 实证分析

为了对本文建立的评价模型进行验证,选取笔者组织开发的南京大学数学系网站为实例进行综合评价。

2.1 高校网站评价指标体系的构建原则

有价值的网站才会满足用户的需求并被利用。网站评价就是要对组成网站的各个要素做出有价值的判定。任何用于网站评价的方法都必须建立在一套科学、完整、可测的评价指标体系之上,脱离了指标体系的网站评价终将难见价值。高校网站评价指标体系的构建要根据高校类网站的特点(如学术性、权威性、原创性),遵循目标一致原则、内容归属原则、层级均衡原则、简易可行原则^[13],从主客观两方面进行,甄选客观存在的指标并对其量化分析,而主观性指标则需要对网站用户进行抽样调查统计或专家评定。

2.2 高校网站评价指标体系的确立

国内外学者在应用信息构建指导网站建设方面早已达成共识,即信息构建(Information Architecture, IA)是网站建设的一种指导理念、建设蓝图^[14]。IA 的优劣直接决定了网站的成功与否,网站发展的每一阶段都可以且应该实施 IA 评价。因此开展网站评价正可以基于信息构建出发,将信息构建 2.0 作为南京大学数学系网站评价的总体目标,进而建立一套完整且具体可测的南京大学数学系网站评价指标体系,如图 3 所示。

2.3 数据处理

第 1 步 根据图 3,确定一级评价指标集 $U = \{u_1, u_2, u_3\}$ 和二级评价指标集:

$$V_1 = \{v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}, v_{16}, v_{17}\}$$

$$V_2 = \{v_{21}, v_{22}, v_{23}, v_{24}\}$$

$$V_3 = \{v_{31}, v_{32}, v_{33}, v_{34}, v_{35}\}$$

并记 $V = \bigcup_{i=1}^3 V_i = \{v_i | t = 1, 2, \dots, 16\}$ 。同时确定评语集 $S = \{\text{优, 良, 中等, 合格, 差}\}$ 。

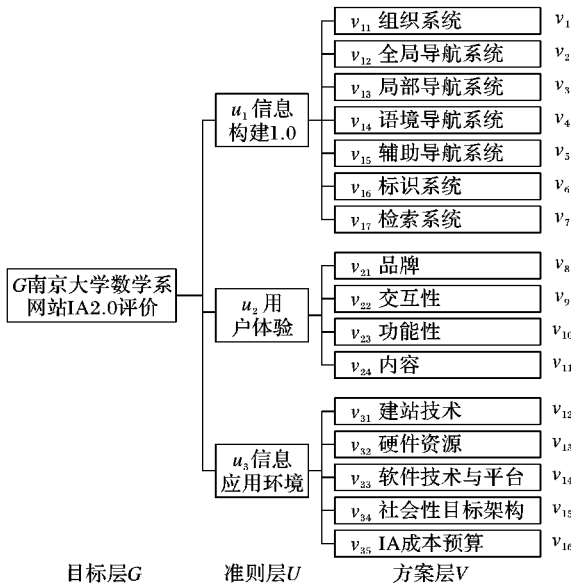


图3 南京大学数学系网站IA2.0评价的递阶层次结构

第2步 熵权模糊综合评判法计算出客观权重。

1) 对方案层V进行单因素评判,建立模糊评判矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 3/6 & 2/6 & 1/6 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5/6 & 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/6 & 3/6 & 1/6 & 1/6 \\ 0 & 2/6 & 3/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 2/6 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2/6 & 2/6 & 2/6 \\ 0 & 1/6 & 2/6 & 1/6 & 2/6 \\ 2/6 & 2/6 & 0 & 1/6 & 1/6 \\ 2/6 & 2/6 & 1/6 & 1/6 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 1/6 & 1/6 & 2/6 & 1/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 3/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 3/6 & 1/6 & 0 & 1/6 \\ 0 & 0 & 0 & 2/6 & 4/6 \\ 0 & 0 & 0 & 1/6 & 5/6 \end{bmatrix}$$

通过输入单因素模糊评判矩阵R,就可输出熵权值W和模糊评判值Z的通用 Matlab 程序代码:

```
function [W,Z] = EW_FV(R)
X = R.';
[m,n] = size(X);
temp = zeros(m,n);
for i = 1:m
    for j = 1:n
        if X(i,j) == 0
            temp(i,j) = 0;
        else
            temp(i,j) = X(i,j) * log(X(i,j));
        end
    end
end
E = -sum(temp)/log(m);
W = (1 - E)/sum(1 - E);
Z = W * R;
>> [\beta_1,Z_1] = EW_FV(R_1)
\beta_1 = (0.1350, 0.3634, 0.2617, 0.0829, 0.1350, 0.0110,
```

```
0.0110)
Z_1 = (0.6526,0.1529,0.1351,0.0400,0.0193)
>> [\beta_2,Z_2] = EW_FV(R_2)
\beta_2 = (0.3783,0.2072,0.2072,0.2072)
Z_2 = (0.1381,0.1727,0.2297,0.2297,0.2297)
>> [\beta_3,Z_3] = EW_FV(R_3)
\beta_3 = (0.0167,0.1259,0.1259,0.3338,0.3976)
Z_3 = (0.0238,0.0867,0.0895,0.2013,0.5987)
>> R = [Z_1;Z_2;Z_3]
>> [\beta,Z] = EW_FV(R)
\beta = (0.5413,0.0182,0.4406)
2) 计算层次总排序后的权重向量:
>> Y = [\beta_1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, \beta_2,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, \beta_3]
>> W = \beta * Y
\beta* = W = (0.0731,0.1967,0.1417,0.0449,0.0731,0.0060,
0.0060, 0.0069, 0.0038, 0.0038, 0.0038, 0.0074,
0.0555, 0.0555, 0.1471, 0.1752)
```

第3步 AHP 计算出主观权重。

1) 进行单层次因素两两比较构造判断矩阵为:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 6 \\ 1/5 & 1 & 2 \\ 1/6 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$U_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 & 6 & 3 & 4 \\ 1/2 & 1 & 5 & 6 & 7 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/5 & 1 & 3 & 5 & 1/6 & 1/6 \\ 1/5 & 1/6 & 1/3 & 1 & 1 & 1/7 & 1/6 \\ 1/6 & 1/7 & 1/5 & 1 & 1 & 1/6 & 1/5 \\ 1/3 & 1/2 & 6 & 7 & 6 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/3 & 6 & 6 & 5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$U_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/6 \\ 3 & 1 & 1/4 & 1/5 \\ 5 & 4 & 1 & 1/2 \\ 6 & 5 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$U_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 & 6 & 7 \\ 2 & 1 & 1/2 & 7 & 8 \\ 3 & 2 & 1 & 8 & 8 \\ 1/6 & 1/7 & 1/8 & 1 & 1 \\ 1/7 & 1/8 & 1/8 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 进行层次单排序,计算出单排序向量:

```
>> [V,D] = eig(G)
>> V = V(:,1) % 取出属于最大特征值的特征向量
>> \beta = V/sum(V) % 归一化得到单排序权重
\lambda_max = 3.0291
\beta = (0.7258,0.1721,0.1020)
CI = 0.0291/2 = 0.0146
CR = 0.0146/0.58 = 0.0251 < 0.1
因 CR < 0.1,故判断矩阵 G 具有满意一致性。依此类推,
>> [V,D] = eig(U_1)
>> V = V(:,1)
>> \beta_1 = V/sum(V)
\lambda_max = 7.7466
\beta_1 = (0.3183,0.2403,0.0608,0.0298,0.0278,0.1844,
0.1386)
CI_1 = 0.7466/6 = 0.1244
CR_1 = 0.1244/1.32 = 0.0942 < 0.1
>> [V,D] = eig(U_2)
>> V = V(:,1)
```


$$F = \bar{W}^* * P$$

% 加权得分向量,分量为各单项指标的加权得分
 $F = (11.586\ 9, 16.719\ 6, 7.925\ 9, 2.296\ 1, 3.624\ 7, 4.797\ 7,$
 $3.514\ 1, 0.4306, 0.7918, 2.1364, 2.9411, 0.9768, 3.6459,$
 $4.1953, 3.6463, 6.5596)$

$$E = \bar{W}^* * P' \quad \% \text{ 被评网站的综合评判值}$$

$E = 75.7888$

2.4 评价结果分析

通过最优组合赋权评价模型计算得到南京大学数学系网站的综合评判值 $E = 75.7888$,属于中等偏上水平。与只采用单一权重模型得出的评判结果对比如表1所示。

表1 组合赋权法与单一权重法的对比

评价方法	计算评判值公式	评判值	评判等级
单一客观法 (熵权法)	% β^* 为客观权重 >> $E_a = \beta^* * P'$	$E_a = 71.4528$	中等偏下
单一主观法 (AHP法)	% β^{**} 为主观权重 >> $E_b = \beta^{**} * P'$	$E_b = 82.1717$	良好偏下
本文的 组合赋权法	% \bar{W}^* 为组合权重 >> $E = \bar{W}^* * P'$	$E = 75.7888$	中等偏上

中等偏上点的评判结果更符合南京大学数学系网站的实际状况,网站尚有较大的改善空间,根据结果数据分析如下:1)品牌与交互性属于得分很低的指标。数学系网站属于高校类网站,更注重网站的实用性、内容的丰富及时,并不特别强调网站的个性交互、社会协作、品牌价值性在内的体验感受。2)语境导航属于得分相对低的指标,上下文参考的丰富性相对缺乏。3)辅助导航指标得分一般,网站上线时还来不及设计网站地图。4)组织系统与全局导航经过充分的考虑和设计,属于得分良好的指标。

尽管评价中所使用的指标体系以及最优组合权重的确立仍不可避免地存在某些局限,有待进一步完善,但评价结果对实际问题的反映确实大体如此。特别是互联网信息环境推陈出新的步伐加快,网站定位、用户需求等很会发生改变,导致网站随时间的推移渐显不足在所难免。因此,评价结果对网站今后如何改善甚至重构具有很好的启示。

3 结语

应用基于方差的最优组合赋权模型评价网络信息资源,既兼顾决策专家经验的重要性,同时又力求增加评价的客观性,集主观判断与客观测评于一体,对单一评价模型只确定出单纯的主、客观权重进行了协调取优,使组合权重融合了主、客观两种模型的优点,更接近评价指标真实的相对重要性;同时由于该组合模型综合了主、客观权重,更加适用于实际中多属性决策问题,这是因为一个被评系统的指标体系中不太可能全是客观指标或全是主观指标,往往是主客观指标均有,而客观赋权法无法反映专家经验,主观赋权法又缺乏很好地对源数据的客观挖掘能力,对主、客观指标的主、客观权重进行优化组合无疑将提高评价结果的可靠性。

但本文仅实现了主、客观权重各为一个情形下的组合赋权模型,但在实际应用中,当主、客观权重为两个以上时,如何通过方差值的最优化确定各个权重的分配系数有待进一步研究。

参考文献:

[1] China Internet Network Information Center (CNNIC). The 31st China Internet development statistics report[R/OL]. [2013-01-30].

http://www.cnnic.cn/hlwfzyj/hlwzxbg/hlwtjbg/201301/P020130122600399530412.pdf. (中国互联网络信息中心. 第31次中国互联网络发展状况统计报告[R/OL]. [2013-01-30]. http://www.cnnic.cn/hlwfzyj/hlwzxbg/hlwtjbg/201301/P020130122600399530412.pdf.)

- [2] ZHAO C L. Research on information organization based on user involvement under the environment of Web 2.0[J]. Journal of the China Society of Indexers, 2010, 8(1): 27-31. (赵春琳. Web2.0环境下基于用户参与的信息组织研究[J]. 中国索引, 2010, 8(1): 27-31.)
- [3] LI Q, LAI M S. Exploration of some problems related with information architecture: user experience and system usability[J]. Information Studies: Theory & Application, 2003, 26(1): 8-10. (李萼, 赖茂生. 信息空间构建相关问题探讨——用户体验和系统可用性[J]. 情报理论与实践, 2003, 26(1): 8-10.)
- [4] WANG X L. The study of the evaluation system based on professional Web[J]. Journal of Information, 2002, 21(10): 31-33. (王晓丽. 基于专业类网站评价体系研究[J]. 情报杂志, 2002, 21(10): 31-33.)
- [5] SAATY T L. Decision making with the analytic hierarchy process[J]. International Journal of Services Sciences, 2008, 1(1): 83-98.
- [6] BAI L. Performance assessment of intelligence fusion based on entropy fuzzy comprehensive evaluation[J]. Ship Electronic Engineering, 2013, 33(4): 32-35. (白亮. 基于熵权模糊综合评判法的情报融合性能评估[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(4): 32-35.)
- [7] ZHANG X F, ZHAO Y L. Curriculum schedule fuzzy comprehensive evaluation method based on AHP[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2008, 38(24): 5-11. (赵秀凤, 赵玉莲. 基于层次分析法的课程表的模糊综合评判[J]. 数学的实践与认识, 2008, 38(24): 5-11.)
- [8] GUO Y J. Comprehensive evaluation theory, methods and extensions[M]. Beijing: Science Press, 2012. (郭亚军. 综合评价理论、方法及拓展[M]. 北京: 科学出版社, 2012.)
- [9] DU D, PANG Q H, WU Y. Selected methods and cases of modern comprehensive evaluation[M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2008.)
- [10] HE B, CHEN C. Theoretic prove of priority result about ANC in analytic hierarchy process[J]. Journal of Yunnan Normal University: Natural Sciences, 2002, 22(4): 11-14. (何斌, 陈灿. 层次分析法中和积法(ANC)排序结果的理论推导[J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2002, 22(4): 11-14.)
- [11] ZHANG R Y, ZHANG Y, JIN X F, et al. Computing weight vector of comparison matrix in AHP based on improved least square[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2009, 39(24): 152-157. (张瑞永, 张云, 金晓飞, 等. AHP判断矩阵权向量的改进最小二乘求解[J]. 数学的实践与认识, 2009, 39(24): 152-157.)
- [12] JIANG Z H. A new consistency regulating method of judgment matrix in AHP[J]. Journal of Nanjing University: Mathematical Bi-quarterly, 2013, 30(2): 224-237. (江正华. AHP中正互反判断矩阵一致性调整的新方法[J]. 南京大学学报: 数学半年刊, 2013, 30(2): 224-237.)
- [13] XING W C. Theoretical research of evaluation system of China's colleges website[J]. Network Security Technology & Application, 2010(3): 69-71. (邢文超. 我国高校网站评价体系的理论研究[J]. 网络安全技术与应用, 2010(3): 69-71.)
- [14] MORVILLE P, ROSENFELD L. Information architecture for the world wide Web[M]. 3rd ed. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2006.