

基于AHP-云重心评判法的 通信信息系统效能评估

Effectiveness Evaluation of Communication Information Systems Based on AHP-Cloud Gravity Center Method

王利敏¹, 王莉娟² (1. 中国人民解放军61905部队, 辽宁 沈阳 110005; 2. 兴义民族师范学院, 贵州 黔西南州 562400)

Wang Limin¹, Wang Lijuan² (1. Unit 61905 of the PLA, Shenyang 110005, China; 2. Minzu Normal University of Xingyi, Southwestern 562400, China)

摘要:

为更好地设计、建设及运用通信信息系统, 需要构建系统的评估指标体系。运用云理论将定性评价转化为定量数据, 结合层次分析法确定指标权重, 计算云重心的加权偏离度, 从而实现了对信息系统的效能评估。提出了一种新的效能评估方法, 综合了层次分析法和云重心评判法的优点, 较好地解决了定性评价的模糊性和随机性问题, 为通信信息系统效能评估提供了有效途径。

关键词:

信息系统; 效能评估; 层次分析法; 云重心评判法

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.06.018

文章编号: 1007-3043(2025)06-0088-05

中图分类号: TN915

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

To better design, construct and utilize communication information system, it is necessary to conduct a comprehensive evaluation index system. It utilizes the cloud gravity center to transform qualitative evaluations into quantitative data, combines with the analytical hierarchy process (AHP) to determine index weights, calculates the weighted deviation of cloud gravity center, and thus achieves effectiveness evaluation of information systems. It proposes a new effectiveness evaluation method that integrates the advantages of the AHP and the cloud gravity center method, effectively addresses the fuzziness and randomness issues in qualitative evaluation, provides an effective approach for evaluating the efficiency of communication information systems.

Keywords:

Information system; Effectiveness evaluation; AHP; Cloud center of gravity

引用格式: 王利敏, 王莉娟. 基于AHP-云重心评判法的通信信息系统效能评估[J]. 邮电设计技术, 2025(6): 88-92.

0 引言

随着现代通信和电子技术的高速发展, 信息化深入到各行各业, 造就了全球社会转型和数字经济的蓬勃繁荣。通信信息系统的建设是否满足用户的需求或满足的程度如何, 即信息系统的效能, 是一个值得研究的问题。在生产实践和科学发现中, 人们发明了效能评估方法, 此方法在不断的发展中已日臻成熟和完善, 目前所发挥的作用早已超越了当初发明时的设

想, 正在众多领域中发挥重大作用。通常来说, 效能评估方法主要包括定量的、定性的及两者相结合的方法^[1], 其中定性评估主要依赖专家的个人经验, 根据专家的知识做出判断, 带有感性成分; 定量评估首先拟定评估指标体系, 然后按照一定的算法和程序计算出评估结果; 定性与定量相结合的评估充分结合了两者的特点, 实现了评估结果定性成分和定量成分的有机互补。

1 云模型

在知识发现及数据挖掘研究工作中, 通常将注意

收稿日期: 2025-04-10

力集中在数据挖掘算法上,而对不确定性推理、定性定量之间的转换、知识表达等一些重要但更趋基础的问题的研究不多,习惯继续使用之前在人工智能领域已取得的成果。在人工智能方面,不确定性一般包括模糊性和随机性。随机性的研究方法主要是数理统计和概率论,模糊性的研究工具主要是模糊集理论,通常用隶属度来表示。但是,如果用隶属函数来表示模糊集,那么模糊集理论就进入了精确的数学思维中,不再具有模糊性的优点,这恰恰表明了模糊集理论的不彻底性。由这个问题出发,李德毅教授等人结合模糊集理论和传统概率统计提出可实现定性定量转换的用于描述不确定性的模型——云模型^[2-5]。

云模型中有3个数字特征:期望(E_x)、熵(E_n)和超熵(He)。 E_x 是定性概念中最具代表性的点,也是定性概念定量化后的典型样本点。 E_n 说明了定性概念的模糊性,即在多大范围内属于这个定性概念,也就是模糊度。 He 是熵的不确定性度量,即熵(E_n)的熵。 He 是整个云厚度的最大值,表示云的离散程度,表征定性概念值的样本出现的随机性,反映随机性和模糊性的关联。云模型如图1所示。

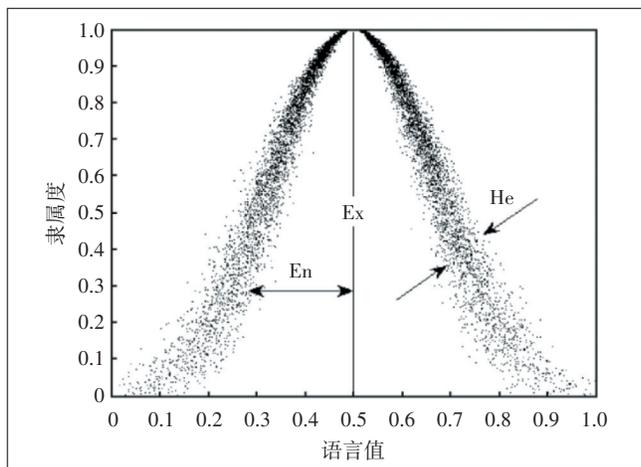


图1 云模型

2 云重心评判法效能评估模型

鉴于云模型的上述特点,可以用云重心评判法来处理模糊性问题,这种方法可对模糊的概念和准确的数值进行互相转化,属于定量定性相结合的评估方法^[6]。

云重心一般用 $T=a \times b$ 来表示, a 表示云重心的位置, b 表示云重心的高度,即可以用云重心来表征系统的状态。如果位置或高度发生变化,那么云重心就会

随之变化,这样就可以通过云重心的变化来表征系统状态的变化。下面是云重心评判法的实现步骤。

2.1 运用云模型刻画指标

在评估指标体系中,既有用精确数值表示的定量指标,也有用模糊语言描述的定性指标。定量指标用云模型来表示,其 E_n 和 He 均为0,数学特征是 $(E_x, 0, 0)$;定性指标就是云模型的基本数学特征 $(E_x, E_n, He)^{[7-9]}$,所有的定性指标和定量指标可形成一个判定矩阵。

在 n 个精确数值刻画1个指标的云模型中:

$$E_x = \frac{E_{x_1} + E_{x_2} + \dots + E_{x_n}}{n} \quad (1)$$

在 n 个模糊语言描述1个指标的云模型中:

$$E_x = \frac{E_{x_1} E_{n_1} + E_{x_2} E_{n_2} + \dots + E_{x_n} E_{n_n}}{E_{n_1} + E_{n_2} + \dots + E_{n_n}} \quad (2)$$

2.2 确定指标权重

用来确定权重的方法有很多,如德尔菲法、区间估计法和层次分析法等,每种方法都各有优缺点,本文采用层次分析法。

首先进行指标相对于效能的定性分析,任意选择2个指标,通过比较可以得出哪个指标更重要。由此可构造出所有指标相对于效能的互反判断矩阵^[10-12]。

权重的计算方法也有很多,比如上三角元素法、和法、幂法、根法、最小二乘法等。本文采用和法来计算权重。首先在一列内对判断矩阵的元素进行归一化处理,由此得到一个新矩阵,然后在一行内计算新矩阵中元素的算术平均数,最终就计算出所有指标相对于效能的权重 W 。

2.3 计算加权偏离度

1个 p 维综合云可以表示 p 个指标的系统状态。所以,某一系统状态下的 p 维综合云重心可表示为 $T = (T_1, T_2, \dots, T_p)$,其中 $T = a_i \times b_i, (i = 1, 2, \dots, p)$, $a = (E_{x_1}, E_{x_2}, \dots, E_{x_p})$ 为 p 维综合云重心的位置,取云的期望; $b = (W_1, W_2, \dots, W_p)$ 为 p 维综合云重心的高度,一般为指标的权重。理想状态下, p 维综合云重心 $T^0 = (T_1^0, T_2^0, \dots, T_p^0)$ 。最后,可计算出 p 维综合云重心偏离 $T^G = (T_1^G, T_2^G, \dots, T_p^G)$,即^[13-14]:

$$T_i^G = \begin{cases} \frac{T_i - T_i^0}{T_i^0}, & T_i < T_i^0, i = 1, 2, \dots, p \\ \frac{T_i - T_i^0}{T_i}, & T_i \geq T_i^0, i = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (3)$$

将 T^c 中的指标偏离与对应的权重相乘, 然后求和, 可得出加权偏离度 θ ($-1 \leq \theta \leq 1$), 如式(4)所示。

$$\theta = \sum_{i=1}^p W_i T_i^c \quad (4)$$

2.4 实现系统效能评估

通过式(5)可以由加权偏离度 θ 得到隶属度 e , 即:

$$e = 1 - |\theta| \quad (5)$$

按照惯例划定语言值的尺度, 评语越细越多, 最终的评估结果就越合理。输入隶属度 e , 激活定性评测云发生器, 输出效能评估结果^[15-16], 定性评测云发生器示意如图2所示。

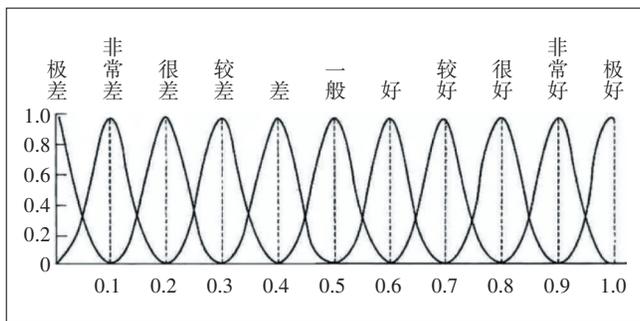


图2 定性评测云发生器示意

3 基于AHP-云重心评判法的通信信息系统效能评估

上述方法在工程实践中已开始进行探索性应用。下面分别以定性和定量评价的通信信息系统为例, 采用层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP) 确定指标权重, 并运用云重心评判法验证其在效能评估中的作用。

3.1 定性评价的通信信息系统

3.1.1 构建效能评估指标体系

效能评估应用广泛, 如在通信信息系统的建设中, 效能评估既可在事前指导系统规划, 又可在事中边建设、边评估, 根据具体情况调整计划, 还可以在事后总结经验教训并给以后的建设提供借鉴, 最终形成PDCA循环, 实现信息系统整体螺旋式上升。

信息系统效能评估指标的构建首先要整理出信息系统具有代表性的功能和性能指标, 然后对这些指标进行合理的层次化, 最后形成一个多层次的评估指标体系。在拟定指标时, 往往根据重要性对其进行分层, 一般上层指标多为全局性的功能指标, 下层指标多为较详细具体的性能指标, 并且上层指标包括下层

指标。而且, 为使评估结果客观全面, 首先由各个专业提出本领域的效能评估指标, 然后由专家进行多轮质询, 以保证指标的全面性; 同时, 应多选取定量指标, 少选取定性指标, 以保证指标的客观性。信息系统的指标体系是一个庞大的结构, 包含多层多指标。限于篇幅, 本文选取指标体系上层最基本的5种全局性功能定性指标, 即系统互通能力 (U_1)、信息传输能力 (U_2)、信息处理能力 (U_3)、系统安全能力 (U_4) 以及辅助决策能力 (U_5), 由此得出信息系统效能评估的指标体系 (见图3)。

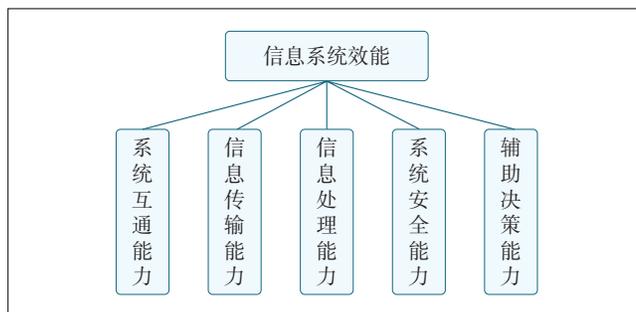


图3 信息系统效能评估指标体系

3.1.2 运用云模型刻画指标

首先, 针对某通信信息系统, 选取5组专家采用自然语言对系统效能评估指标进行评判, 其中自然语言的引入充分体现了定性描述的模糊性。通信信息系统效能评估指标状态如表1所示。

表1 通信信息系统效能评估指标状态

5种能力和专家自然语言评判	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
专家1	好	较好	非常好	一般	好
专家2	好	较好	较好	较好	一般
专家3	非常好	较好	好	很好	较好
专家4	很好	一般	较好	较好	好
专家5	非常好	很好	很好	很好	很好
理想状态	极好	极好	极好	极好	极好

然后, 利用评语集将模糊的自然语言评语转化为精确数值的定量指标, 并形成判定矩阵 B , 即:

$$B = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.7 & 0.9 & 0.5 & 0.6 \\ 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.5 \\ 0.9 & 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.7 \\ 0.8 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.6 \\ 0.9 & 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中理想状态下的判定矩阵 $L = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ 。

最后, 运用云模型刻画5个指标, 由式(1)计算得

到其 E_x 及理想状态下的 E_x^0 , 结果如表 2 所示。

表 2 效能评估指标期望值和熵值

期望值和熵值	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
E_x	0.76	0.68	0.74	0.7	0.64
E_x^0	1	1	1	1	1

3.1.3 层次分析法确定指标权重

首先根据指标之间的相对重要性构造出互反判断矩阵, 然后运用和法计算出所有指标相对于效能的权重, 结果如表 3 所示。

表 3 互反判断矩阵及权重

判断矩阵及权重	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
U_1	1	5	3	1/5	1/3
U_2	1/5	1	1/3	1/9	1/7
U_3	1/3	3	1	1/7	1/5
U_4	5	9	7	1	3
U_5	3	7	5	1/3	1
W	0.134	0.035	0.068	0.503	0.260

3.1.4 计算加权偏离度

根据 $T=a \times b$, 可计算出 5 维综合云重心 T 和理想状态下 5 维综合云重心 T^0 , 并由式(3)计算出 5 维综合云重心偏离 T^c , 结果如表 4 所示。

表 4 5 维综合云重心相关值

云重心相关值	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
T	0.101 8	0.023 8	0.050 3	0.352 1	0.166 4
T^0	0.134	0.035	0.068	0.503	0.260
T^c	-0.24	-0.32	-0.26	-0.30	-0.36

最终由式(4)计算出加权偏离度为-0.305 5。

3.1.5 实现系统效能评估

由式(5)可知评估结果的隶属度为 0.694 5。在定性评测云发生器中, 以计算出的隶属度作为输入, 可得到“好”和“较好”2 个云对象, 而且更倾向于“较好”。因此, 对该信息系统效能评估的结论是, 在“好”与“较好”之间, “较好”的程度更高。

3.2 定量评价的通信信息系统

3.2.1 运用云模型刻画指标

以某千兆计算机网络为例, 选取丢包率、误码率、时延、吞吐量、抖动作为效能评估指标。工程实际中采集的数据如表 5 所示。

表 5 计算机网络效能评估指标数据

网络指标数据	丢包率/%	误码率($\times 10^{-7}$)	时延/ms	吞吐量/(Mbit/s)	抖动/ms
数据 1	0.6	1	3	954	5
数据 2	0.3	5	2	983	3
数据 3	0.2	3	4	991	8
数据 4	0.5	9	6	976	6
数据 5	0.4	4	7	968	4

丢包率、误码率、时延、抖动是固定型数据, 数值越小越好, 对其进行归一化处理的公式为 $1-x/a$, 其中 a 为限值, 一般取 1‰、 1×10^{-6} 、20 ms、10 ms; 吞吐量是效益型数据, 数值越大越好, 对其进行归一化处理的公式为 x/a , 其中 a 为限值, 一般取 1 000 Mbit/s。对表 5 中数据进行归一化处理后得到的数据如表 6 所示。

表 6 归一化处理后数据

归一化后数据	丢包率	误码率	时延	吞吐量	抖动
数据 1	0.4	0.9	0.85	0.954	0.5
数据 2	0.7	0.5	0.9	0.983	0.7
数据 3	0.8	0.7	0.8	0.991	0.2
数据 4	0.5	0.1	0.7	0.976	0.4
数据 5	0.6	0.6	0.65	0.968	0.6
理想值	1	1	1	1	1

运用云模型刻画 5 个指标, 由式(1)计算得到其 E_x 及理想状态下的 E_x^0 , 结果如表 7 所示。

表 7 效能评估指标期望值和熵值

期望值和熵值	丢包率	误码率	时延	吞吐量	抖动
E_x	0.6	0.56	0.78	0.974 4	0.48
E_x^0	1	1	1	1	1

3.2.2 层次分析法确定指标权重

首先根据指标之间的相对重要性构造出互反判断矩阵, 然后运用和法计算出所有指标相对于效能的权重, 结果如表 8 所示。

表 8 互反判断矩阵及权重

判断矩阵及权重	丢包率	误码率	时延	吞吐量	抖动
丢包率	1	3	1/3	1/5	5
误码率	1/3	1	1/5	1/7	3
时延	3	5	1	1/3	7
吞吐量	5	7	3	1	9
抖动	1/5	1/3	1/7	1/9	1
W	0.134	0.068	0.260	0.503	0.035

3.2.3 计算加权偏离度

根据 $T=ab$, 可计算出5维综合云重心 T 和理想状态下5维综合云重心 T^0 , 并由式(3)计算出5维综合云重心偏离 T^c , 结果如表9所示。

表9 5维综合云重心相关值

云重心相关值	丢包率	误码率	时延	吞吐量	抖动
T	0.080 4	0.038 1	0.202 8	0.490 1	0.016 8
T^0	0.134	0.068	0.260	0.503	0.035
T^c	-0.4	-0.44	-0.22	-0.025 6	-0.52

最终由式(4)计算出加权偏离度为-0.171 8。

3.2.4 实现系统效能评估

由式(5)可知评估结果的隶属度为0.828 2。在定性评测云发生器中,以计算出的隶属度作为输入,可得到“很好”和“非常好”2个云对象,而且更倾向于“很好”。因此,对该计算机网络效能评估的结论是,在“很好”与“非常好”之间,“很好”的程度更高。

以上2个示例是基于理论和模型的客观主观相结合的成果,在很大程度上避免了完全的“模糊”和机械的“精确”所带来的弊端,也被通信信息从业者所接受。

4 结语

通过云重心评判法可以衡量整个系统状态的变化情况,同时,利用云理论的优势合理地转换了定性指标和定量指标。将云重心评判法引入信息系统效能评估中,构建基于AHP-云重心评判法的信息系统效能评估模型,该模型综合了层次分析法和云重心评判法的优点,评估结论更加直观易懂,开拓了信息系统效能评估研究领域的思路和方法。然而,这种方法确实还含有一些专家个人观点乃至情感色彩,如何减少其中的主观因素,使评估结论更加客观、科学、合理,将是下一步的研究重点^[17]。

目前,行业在通信信息系统效能评估指标体系方面已经开展了大量工作,这些方法经过多轮次的实践检验和专家评审,在总领域及各个分领域已经取得了一些成果。在评估算法方面,已经有层次分析法等成熟的商用软件,而且已初步运用在通信信息系统效能评估中,取得了较好的效果。未来,将继续完善效能评估指标体系,使其更加客观全面;并建立效能评估算法库,算法库除囊括现有效能评估算法外,将持续改进,创造出性能更优的算法,从而使效能评估取得

更好的效果,帮助通信信息系统的建设。

参考文献:

- [1] 林永兴,李春锋,徐永清. 信息系统效能评估方法综述[J]. 福建电脑,2015(4):75-77.
- [2] 王媛. 基于云模型的网络信息系统可生存性评估方法[D]. 南京:南京理工大学,2008.
- [3] 陈磊. 效能评估理论及应用[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2016:67-71.
- [4] 李德毅,杜鹃. 不确定性人工智能[M]. 北京:国防工业出版社,2005:105-112.
- [5] SU G R, JIA B S, WANG P, et al. Risk identification of coal spontaneous combustion based on COWA modified G1 combination weighting cloud model[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1):2992.
- [6] 王希,周林,王小龙. 基于云重心评判法的测控装备运维保障效能评估[J]. 装甲兵学报,2023(2):65-69.
- [7] FU L, XIE F H, WANG D Z, et al. The overview for UAV air-combat decision method[C]//The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC). Changsha, China: IEEE, 2014:3380-3384.
- [8] 徐康发. 多机协同空战智能决策与评估方法[D]. 南京:南京航空航天大学,2020.
- [9] WU M H, GAO Y B, JUNG A, et al. The actor-dueling-critic method for reinforcement learning[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2019, 19(7):1547.
- [10] 赵虎,牛晓博. 综合电子信息系统效能评估研究综述[J]. 舰船电子工程,2011,31(7):11-13,80.
- [11] TUCKER S C. Persian gulf war encyclopedia[M]. New York: ABC-CLIO, 2014:101-111.
- [12] SAATY T L. How to make a decision: The analytic hierarchy process [J]. European Journal of Operational Research, 1990, 48(1):9-26.
- [13] 申恒龙,赵辉,曹辉,等. 基于云重心评判的轮机模拟器智能评估方法[J]. 中国航海,2022,45(3):7-12,20.
- [14] 程华斌,胡容玲,熊萍. 基于云重心模型的高校课堂教学质量评价研究[J]. 科教导刊,2023(1):25-27.
- [15] 张心刚,苏浩益. 应用云重心评判理论的并网风电机组性能分析[J]. 高压电器,2016,52(8):131-135,140.
- [16] 郭晓沅,黄建祥. 基于云重心判读法的瞄准误差影响度分析[J]. 弹箭与制导学报,2014,34(2):182-184,封3.
- [17] 郭云涛,郭梦娜,屈柯馨,等. 基于云重心评价法的化工园区应急能力评估研究[J]. 科技管理研究,2021,41(11):210-215.

作者简介:

王利敏,毕业于吉林大学,硕士,主要研究方向为人工智能、大数据、云计算、网云融合等领域的咨询设计、效能评估;王莉娟,毕业于澳门城市大学,博士,主要研究方向为智慧旅游管理相关内容。