

GEO 卫星频轨选取风险柔性评估方法及应用^①



韩皓睿¹, 巩应奎², 梅中义¹, 韩朝晖³

¹(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100083)

²(中国科学院 光电研究院, 北京 100094)

³(中国电子设备系统工程公司, 北京 100840)

通讯作者: 巩应奎, E-mail: ykgong@aoe.ac.cn

摘要: 针对 GEO 卫星频轨选取风险评估面临的参评指标因基础数据条件不同而参差不齐、指标赋权因用户体验不同而存在差异的问题, 提出了一种 GEO 卫星频轨选取风险的柔性评估方法. 在模糊综合评估法的基础上, 从指标计算映射、指标权重配置两个方面支持用户的柔性化配置. 针对用户在指标计算映射和指标权重配置方面的差异化, 分别提出了基于聚类分析和正态分布模型自主学习的柔性构建方法, 融合用户的经验知识, 形成大多数用户认可的指标计算映射关系和指标权重配置, 使风险评估更加科学化、合理化. 基于该柔性的风险评估方法, 开发了 B/S 架构的柔性评估系统, 并通过实例验证了算法和系统的有效性.

关键词: GEO 卫星; 频轨选取; 模糊综合评价法; 柔性评估系统; 聚类分析

引用格式: 韩皓睿, 巩应奎, 梅中义, 韩朝晖. GEO 卫星频轨选取风险柔性评估方法及应用. 计算机系统应用, 2019, 28(2): 33-40. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6805.html>

Flexible Risk Evaluation Method and Application for GEO Satellite Frequency and Orbit Selection

HAN Hao-Rui¹, GONG Ying-Kui², MEI Zhong-Yi¹, HAN Zhao-Hui³

¹(School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100083, China)

²(Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

³(China Electronic System Engineering Company, Beijing 100840, China)

Abstract: Aiming at the problem that the index is different due to basic data conditions and the index weight is different due to diversity of user experience in GEO satellite frequency and orbit selection risk evaluation, a flexible risk evaluation method for GEO satellite frequency and orbit selection is proposed. Based on the fuzzy comprehensive evaluation method, the evaluation method supports user to configure flexibly from two aspects: index calculation mapping and weight configuration. For the difference of the index calculation mapping and weight configuration among users, a flexible construction method based on cluster analysis and normal distribution model autonomous learning is proposed. The construction method integrates the user's experienced knowledge to form the index mapping relationship and weight which most users approve, making the risk evaluation more scientific and rational. Based on the flexible risk evaluation method, the flexible evaluation system under the B/S was developed and effectiveness of the algorithm and the system is verified by actual cases.

Key words: GEO satellite; frequency and orbit selection; fuzzy comprehensive evaluation method; flexible evaluation system; cluster analysis

① 收稿时间: 2018-08-30; 修改时间: 2018-09-26; 采用时间: 2018-10-12; csa 在线出版时间: 2019-01-28

卫星频率轨道资源是一个国家的政治、经济和国防等方面的重要战略资源。其中地球静止轨道(Geostationary Orbit, GEO)作为特殊的轨道位置,是全世界各国的共有资源,GEO 频轨资源分配必须走国际申报和协调的程序。为了争取卫星频率轨道资源,需要在工程建立之前就开展频轨资源的需求论证工作,考虑到频轨资源的应用现状、国际申报和协调形势分析,开展 GEO 卫星频轨选取风险评估工作,对提升卫星频轨资源申报工作效率有着重要意义^[1,2]。

长期以来,我国在 GEO 卫星频轨选取的风险评估方面,主要采用依赖于专家经验的人工处理方式,难以针对大量的卫星及卫星网络数据进行深入的分析,从而严重制约了我国争取 GEO 卫星频轨资源。近年来,国内学者逐步开展了相关的研究工作,初步具备了量化评估的能力^[3,4]。

本文在已有工作基础上,主要针对 GEO 卫星频轨选取风险的柔性评估方法开展研究,在模糊综合评估法的基础上,重点针对指标计算映射和指标权重配置两方面,分别提出了基于聚类分析和正态分布模型自主学习的柔性构建方法。另外,实现了针对分层指标和各频轨任务的结果回溯,开发了 B/S 架构的柔性评估系统,并通过实例验证了评估算法和系统的有效性。

1 GEO 频轨选取风险评估现状

传统的 GEO 卫星频轨选取工作通常采用专家人工处理,主要通过频轨需求任务解析、国内频轨形势和国外频轨形势分析三个步骤来逐步处理,最终收敛到备选轨位,如图 1 所示^[1]。周鑫林等^[3,4]通过分析传统的 GEO 卫星频轨选取流程,将以往由人工处理的繁杂的选取工作归纳为在轨星分析和卫星网络分析两方面,并针对个别属性特征进行了差异化处理,构建了针对 GEO 卫星频轨协调任务的指标体系,采用模糊综合评估法的思想,对其中一些可量化处理的指标项进行了差异化处理,实现了频轨选取的量化评估。

本文在前期工作中比较了多种常用的综合评估方法^[5,6],包括 ADC 分析法、灰色聚类法^[7]、模糊综合评估法、TOPSIS 法^[8]等。对这几种方法进行分析比较后,本文认为模糊综合法仍满足评估需求,但针对柔性评估需要对当前算法进行改进。在柔性化评估方面,蔺美青等^[9]在 TOPSIS 的基础上进行了各层指标的封装得到算子元件,运用算子元件构建了算子树的评估模板,

提出了基于算子的评估柔性建模,其工作对本文研究有重要的启发意义。

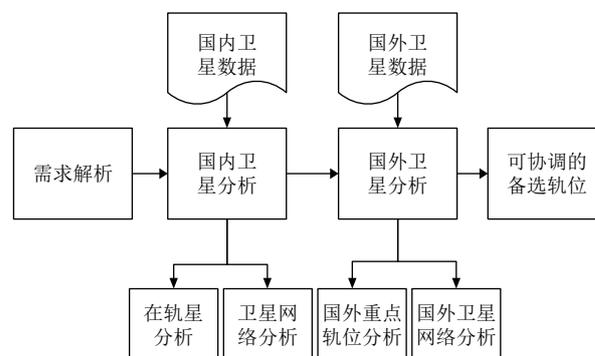


图 1 传统 GEO 卫星频轨选取流程图

在 GEO 卫星频轨选取风险评估过程中,由于基础数据条件不同可能导致参评指标的差异,由于用户经验不同可能导致指标赋权的差异,因此不存在适用于所有场景的指标体系和指标权重。GEO 卫星频轨选取风险的柔性化评估工作能够使评估工作更加灵活、客观、科学,对于申报 GEO 卫星频轨资源具有重要的意义。

2 GEO 频轨选取风险柔性评估系统

2.1 系统框架结构

刘一田等提出了一种 B/S 系统的柔性 Web 展现框架,构建了 AJAX+MVC 模式的框架模型^[10]。本文借鉴其思想,实现了模型(Model)、视图(View)和控制(Controller)的合理分层,在系统的框架层面实现了柔性化。系统总体结构如图 2 所示,分为视图层、功能层、模型层和数据库。

(1) 视图层

视图层实现评估系统和用户的交互操作,负责评估任务的输入、评估阶段订制、指标项配置和评估结果展示等。视图层通过客户端浏览器的动态网页加载,完成用户的操作响应,除了完成主要的评估工作之外,还实现了基础数据维护交互、用户信息管理交互和基础数据的图形化建模显示等。

(2) 功能层

功能层是整个系统的核心,以模糊综合评估法为基础,负责评估计算工作,如评估任务解析,基础数据筛选工具类、评估流程中需要的工具类、管理员的功能类,评估值赋值,评估指标项权重计算等。数据库交互的类和负责全局变量的静态类也包含在功能层中。

功能层通过控制器调用视图和模型完成用户发送到服务器中的请求。

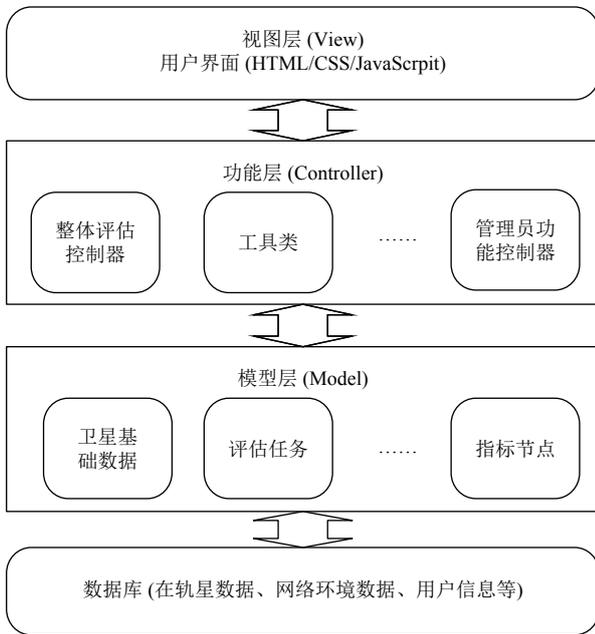


图2 评估系统结构图

(3) 模型层

模型层包括两种主要的模型类。首先是评估计算中需要的模型类，如指标节点、评估任务、评估结果模型等。其次是和数据库交互的模型类，如卫星基础数据、卫星网络数据、用户信息等。通过有效的封装模型类，降低代码的耦合性，提高代码的可维护性，是柔性系统的重要体现。

(4) 数据库

数据库主要包括在轨星基础数据和卫星网络基础数据，卫星基础数据主要要素包括 NOARD 号、卫星名称、国家、轨位、频段类型、频率上下限、覆盖区等。在轨星基础数据来自于各地面站的长期收集。卫星网络基础数据来自于国际电联组织 (ITU) 公布的 SRS 数据库。

通过采用 MVC 设计模式的 B/S 架构，大大降低了客户端负担，用户可以直接通过浏览器进行交互，既减少了维护更新系统的成本，又保证了数据的安全性，使多用户跨平台进行评估工作成为可能，同时为了共享和优化专家经验，提出了柔性化评估这一思想。

2.2 系统流程

系统的频轨选取风险评估流程如图3所示。

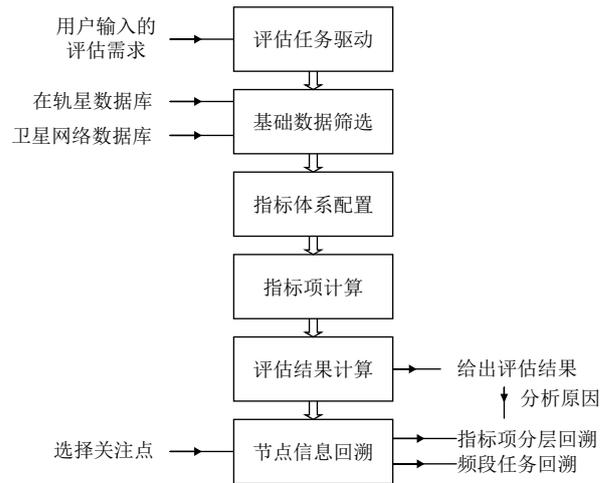


图3 系统风险评估流程

(1) 评估任务驱动

首先对用户输入的评估任务进行解析，生成一组待评估频轨任务。

(2) 基础数据筛选

在评估任务的基础上，依据频段范围、频段类型、覆盖区等要素对数据库中的基础数据进行初步筛选，得到参评基础数据，用于后序评估工作。

(3) 指标体系配置

指标体系配置是评估算法柔性化的核心，主要包括指标项权重配置和叶子指标项映射配置。权重配置面向所有用户，每个用户都可以配置适合自身评估需求的权重方案，这些权重方案会保存在数据库中，为下一步工作提供基础。叶子指标项映射配置只针对专家，专家可根据自己的评估需求，修改叶子节点的评估映射关系，各专家方案也会保存在服务器数据库中，用户可以选择默认配置或已经保存在数据库中的配置方案进行评估。

(4) 指标项计算

指标项计算分为叶子指标项和非叶子指标项，叶子节点通过频轨任务和基础数据的数据映射获得量化值，非叶子节点通过其子节点指标项和各子节点权重计算得到评估值。

(5) 评估结果计算

完成了叶子指标项和非叶子指标项的评估值计算，频轨方案的评估结果由下至上收敛得到。

(6) 节点信息回溯

之后用户可以选择关注点，进行指标项分层结果

对比和频轨任务详情回溯,分析评估得分具体原因,调整评估任务,进行再评估。

3 面向用户的评估算法柔性化

评估计算过程包括指标项权重计算、叶子指标项评估值计算和评估结果计算三个主要过程。对当前指标体系进行优化,得到的频轨选取风险评估指标体系

如图4所示,指标体系主要从卫星应用环境(在轨星分析)和卫星网络协调环境两方面进行量化表征,并依据维度进行分类,叶子节点直接和参评数据比对进行赋值,之后由下至上按照各节点自身权重进行收敛计算,最终得到评估值。在传统模糊综合法基础上,本文提出了针对叶子指标映射关系的柔性构建和指标项权重的自主学习,实现面向用户的评估算法的柔性化。

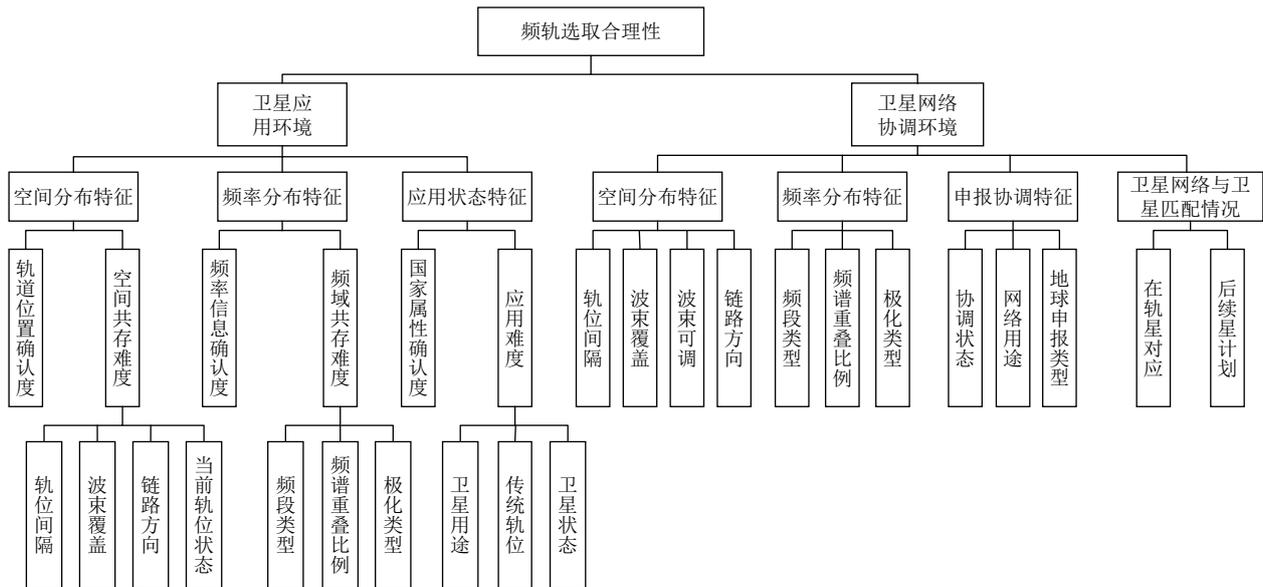


图4 卫星频轨评估指标体系

3.1 指标体系柔性构建

指标体系柔性构建针对叶子指标项的赋值计算进行重构。叶子指标项的映射关系是评估计算的开始点,系统收集专家用户对叶子指标项映射关系的配置方案,基于此进行指标体系的柔性构建,各专家给出的方案不同,如何确定各专家自身权重,是算法重点。

目前对各专家权重系数的确定,大多依据专家影响力、权威性等因素人为确定,权重确定后,专家权重一般不再改变。这种确定方法存在以下两个方面的问题:一是对于不同的节点,专家个体的权重不应采用相同的值,因为不同节点,专家的专业知识、经验优势不一定相同;二是对专家之间的声望、权威性进行明显比较是很难实现的,而把这种比较量化更加复杂,结果并不具有说服力。

鉴于以上讨论,本文使用群组聚类分析法,根据专家权重配置的相似度(聚类分析结果)来确定各专家权重^[11]。

假设配置对象有 n 个,参加配置的专家有 s 个,第 i 个专家在某一节点下,给出的赋值关系是 A_i :

$$A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})^T \quad (i = 1, 2, \dots, s)$$

不同专家赋值关系 A_i 和 A_j 之间的相似度 $c(i, j)$ 根据夹角余弦计算:

$$c(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ik} * a_{jk}}{\left[\left(\sum_{k=1}^n a_{ik}^2 \right) * \left(\sum_{k=1}^n a_{jk}^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

永远有 $c(i, j) \leq 1$, 且 $c(i, j) = c(j, i)$ 。

根据相似度判断两个专家赋值的相似程度, $c(i, j)$ 越接近 1, 表示两个专家的配置越相似, 当 $c(i, j) = T$, 表示两个赋值关系完全相同。所以给出一个相似度阈值 T , 如果两个专家配置 A_i 和 A_j 相似度符合:

$$c(i, j) \geq T \quad (2)$$

则 A_i 和 A_j 聚为一类。

通过聚类分析, 将各专家的配置划分为不同类别, 假

设最后划分得到 t 个类别, 显然有 $t \leq s$, 第 p 个类包含的专家配置有 h_p 个, 这个类包含的所有的配置方案, 可以用一个置信因子 T_p 来表示其重要程度. 那么有如下公式:

$$T_p = \frac{h_p}{s} \quad (3)$$

容量较大的类中包含的配置方案表达了较多人的意见, 对应的专家赋以较大的权重系数; 与之相反, 容量较小的类中的专家就赋以较小的权重. 假设专家 i 属于第 p 个类, 则 i 的权重系数 w_i 和专家 i 的置信因子 T_i 成正比, 其中 a 是比例系数

$$w_i = aT_i (T_i = T_p) \quad (4)$$

由式 (4) 推得:

$$w_i = \frac{T_i}{\sum_{j=1}^s T_j} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^s T_j = \sum_{q=1}^t h_q * T_q = \frac{\sum_{q=1}^t h_q^2}{s} \quad (6)$$

由 (3)、(5)、(6) 三式可得:

$$w_i = \frac{h_p}{\sum_{q=1}^t h_q^2} \quad (7)$$

由式 (7) 确定了各配置方案的权重, 然后通过加权平均法求得目标叶子节点映射关系的配置方案.

例: 针对图 4 指标体系中的卫星应用环境下的卫星用途节点的映射关系, 目前分为 5 种情况 (某用、国际组织、商用、政府和科研), 已有 7 名专家针对这 5 个阶段给出了自己的配置方案, 用向量表示如下:

$$\begin{cases} U_1 = (0.1, 0.1, 0.2, 0.2, 0.4)^T \\ U_2 = (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6)^T \\ U_3 = (0.1, 0.2, 0.2, 0.2, 0.4)^T \\ U_4 = (0.1, 0.2, 0.4, 0.4, 0.4)^T \\ U_5 = (0.1, 0.2, 0.6, 0.3, 0.4)^T \\ U_6 = (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5)^T \\ U_7 = (0.1, 0.3, 0.6, 0.3, 0.6)^T \end{cases}$$

采用系统聚类法, 由计算机可计算结果, 聚类分析结果如下:

$$\begin{cases} c(1, 2) = 0.981749 \\ c(1, 3) = 0.983282 \\ c(1, 4) = 0.942852 \\ c(1, 5) = 0.893188 \\ c(1, 6) = 0.978439 \\ c(1, 7) = 0.945691 \end{cases}$$

规定阈值 $T=0.97$, 最终聚为三类:

第 1 类: 有 4 位专家, 分别是: 1、2、3、6;

第 2 类: 有 2 位专家, 分别是: 4、7;

第 3 类: 有 1 位专家, 分别是: 5;

按照式 (7) 得到各位专家的权重分别是:

$$w_1 = \frac{4}{21}; w_2 = \frac{4}{21}; w_3 = \frac{4}{21}; w_4 = \frac{2}{21};$$

$$w_5 = \frac{1}{21}; w_6 = \frac{4}{21}; w_7 = \frac{2}{21};$$

按照权重配置计算得到的卫星用途最终映射关系配置方案为:

某用: 0.1, 国际组织: 0.1905, 商用: 0.3143, 政府: 0.3095, 科研: 0.4762.

由结果来看, 通过聚类分析法对给出决策的专家们进行分类, 并以此为依据, 给各专家赋予一定的权重, 权重的大小表示了该专家在此项配置的影响力, 有效整合了所有专家的意见. 一方面, 这在指标体系柔性构建方面有重要意义, 另一方面, 综合了各专家意见, 评估结果会更加准确. 本文采用的层次聚类分析法, 不需要提前指定聚类数目, 通过设置阈值, 可以控制不同层次的聚类情况, 对评估算法的柔性化具有重要的支撑作用.

3.2 指标权重动态学习

指标权重计算采用层次分析法, 按其重要程度量化为 0-9 进行表述, 权重为 0 表示该指标不参与评估. 系统根据专家经验汇总拥有一套既定的指标权重方案, 另外, 系统还支持用户自主配置指标权重. 本文在指标权重支持自主配置的基础上, 进行了多指标权重的自适应学习. 用户也可以使用经过自主学习得到的权重方案, 经过学习得到的指标权重表述了大多数人的权重配置, 比起专家既定权重和用户自主配置权重两种方案, 降低了主观性, 使评估结果更加客观.

系统保存 n 个用户的权重配置, 针对指标体系中第 i 层的第 j 个节点 $a_{i,j}$ 有 n 个配比情况 $X_{a_{i,j}}$, 因为不同用户之间的配比互不影响, 所以配比 $X_{a_{i,j}}$ 是相互独立的, 且权重值围绕一个期望值 μ 分布在 0-9 之间, 即可认为 $X_{a_{i,j}}$ 是正态分布 (μ, σ^2) 的一个样本, σ 是 $X_{a_{i,j}}$ 的标准差. 所以可按照正态分布模型进行权重的自主学习, 正态分布的置信区间面积分布如图 5 所示^[12], 每条数据权重确定过程如下:

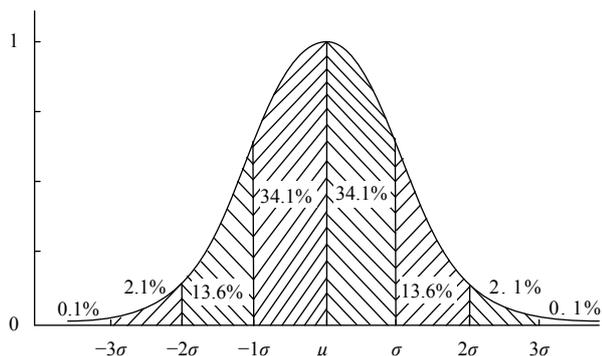


图5 正态分布区间面积图

x_k 是 $X_{a_{i,j}}$ 中的第 k 条数据, 按照正态分布, 如果 $ABS(x_k - \mu) \leq \sigma$, 权重 $w_k = 0.68$; 如果 $\sigma < ABS(x_k - \mu) \leq 2\sigma$, 则 $w_k = 0.27$; 如果 $2\sigma < ABS(x_k - \mu)$, 则 $w_k = 0.05$. 则最后的 $a_{i,j}$ 节点的权重学习结果为:

$$x_{a_{i,j}} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k * w_k}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (8)$$

例: 已知共有 20 位用户给出了图 4 中的卫星应用环境 (B1) 和卫星网络 (B2) 环境的权重配置, 在这两个节点的权重值如表 1, 其中, 用户不必关心所有节点配比和是否为 1, 当权重为 0 时, 此项指标不参与评估.

表 1 应用环境和网络环境节点权重汇总

用户	应用环境 (B1)	网络环境 (B2)
A	5	1
B	5	1
C	3	1
D	5	3
E	5	0
F	5	2
G	5	1
H	5	2
I	5	2
J	7	3
K	4	2
L	4	2
M	4	2
N	6	3
O	6	1
P	6	1
Q	6	2
R	7	0
S	2	4
T	3	3

根据前述方法针对这两个节点的指标权重进行自主学习, 得到两个节点的所有用户配置的期望: $A_{B1} = 4.9, A_{B2} = 1.8$. 标准差: $\sigma_{B1} = 1.26, \sigma_{B2} = 1.03$. 经

过学习得到的两节点权重分别为: $w_{B1} = 5.05, w_{B2} = 1.62$. 原始数据分布和结果如图 6.

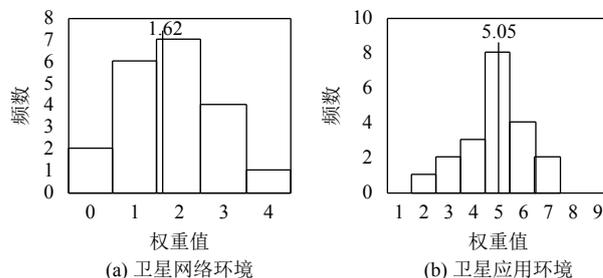


图6 权重自学习结果图

通过结果分析, 可以得到按照正态分布模型学习得到的权重能较好地表述绝大多数人的意见, 通过学习得到的权重可以较好地表述所有用户的权重配置趋势, 对科学地确定各指标节点权重具有重要意义. 总体而言, 本文提出的正态分布模型是一个主观假设, 实际情况下, 在样本数据较少的情况下, 存在假设太过主观的缺点, 但是针对个别恶意权重配置, 有很好的抵御能力. 在系统中, 用户可以选择默认权重、自行配比权重或系统学习权重, 选取最合适的权重进行评估是评估柔性化的重要体现.

4 实例验证

现计划在中国及周边上空的地球静止轨道上选择一个轨位, 发射一个通信卫星, 卫星频段选取常规通信频段 Ku, 考虑到覆盖区域, 计划在 120° 附近选择风险最小的位置, 默认调整步长为 1° , 选择 $115^\circ-125^\circ$ 轨位进行评估. 依据任务需求, 输入的评估任务如表 2.

表 2 通信卫星评估任务

属性	取值
轨位范围	$115^\circ E-125^\circ E$
协调弧	2°
频段类型	Ku
频段范围	10 000 MHz-12 000 MHz
占用带宽	50 MHz
链路方向	E(下行)
覆盖区	XVE
调整步长	1°

依据 GEO 卫星频轨选取风险柔性评估系统, 根据提示进行评估操作, 得到的结果如图 7 所示.

参评卫星基础数据		参评卫星网络基础数据		评估结果	
频段类型	轨位	卫星应用环境	卫星网络环境	频轨选取合理性评分	详情
Ku	115	0.2289	0.3435	0.2862	...
Ku	116	0	0.3413	0	...
Ku	117	0.2289	0.3434	0.2861	...
Ku	118	0.227	0.3467	0.2868	...
Ku	119	0.1932	0.3502	0.2717	...
Ku	120	0.1881	0.3434	0.2658	...
Ku	121	0.1898	0.3456	0.2677	...
Ku	122	0	0.3391	0	...
Ku	123	0.1864	0.3361	0.2612	...
Ku	124	0.1931	0.3402	0.2667	...
Ku	125	1	0.3589	0.6794	...

图7 通信卫星评估结果图

从结果来看,参评的卫星基础数据(在轨星)有4颗,评估任务中的116°和122°两个轨位的备选任务和轨星轨位发生冲突,所以直接将这两个方案否决,得分为0,125°轨位附近没有在轨卫星,卫星应用环境得分为满分1.参评的网络环境数据较多,任务轨位区间网络卫星分布多,协调难度大,所以卫星网络协调环境下的得分普遍较低.综合两个环境得分,125°轨位评估得分最高,协调风险最小.

针对评估结果进行原因分析,系统给出了分层评估结果对比和评估详情分析两种方法,分层结果对比

主要是对比不同频轨方案在同一层指标项上的得分情况.例如,选择第5层叶子节点,由于只有在轨星形势分析拥有第5层叶子节点,所以得分结果也只和在轨星基础数据有关,分层评估结果如表3.结果所示,轨位间隔得分为0的方案由于和在轨星轨位冲突,不适合作为备选轨位被一票否决,最终得分直接为0.得分为1的方案则表示此条方案附近没有在轨星分布,协调环境宽松.通过分层评估得分对比,分析各任务方案此层各指标节点得分情况,对找寻某一频轨方案得分高低原因有重要意义.

表3 第五层指标项评估得分表

频段类型	轨位	轨位间隔	波束覆盖	链路方向	当前轨位状态	频段类型	频谱重叠比例	极化类型	卫星用途	传统轨位	卫星状态
Ku	115	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8333	0.1	0.2	0.2	0.2
Ku	116	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8333	0.1	0.2	0.2	0.2
Ku	117	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8333	0.1	0.2	0.2	0.2
Ku	118	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5559	0.1	0.2	0.2	0.1667
Ku	119	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.001	0.1	0.2	0.2	0.1
Ku	120	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4172	0.1	0.2	0.2	0.1
Ku	121	0.075	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4172	0.1	0.2	0.2	0.1
Ku	123	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8333	0.1	0.2	0.2	0.1
Ku	124	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8333	0.1	0.2	0.2	0.1
Ku	125	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8333	0.1	0.2	0.2	0.1
Ku	126	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

频轨任务详情分析中,用户可选择单独的一个频轨方案进行详情分析,通过图形化的描述选定频轨方案的各节点得分情况,用户直观的分析哪些指标项主要影响了最终得分,在这里由于篇幅限制就不再给出系统截图.通过对评估结果的分析,用户更容易调整评

估需求,进行再评估,缩短了从评估任务收敛到可协调目标轨位的时间.

5 结束语

本文在 GEO 卫星频轨协调风险量化评估的基

基础上,实现了多用户的指标体系的柔性构建,包括指标权重的自学习和叶子指标项的柔性构建,根据对用户信息的收集分析,使评估算法更加科学,更具柔性化;根据频轨任务评估结果的特点,提出了针对分层指标和频轨任务的结果回溯,方便用户调整评估任务,更快收敛到目标轨位;开发了B/S架构下的柔性评估系统,并进行了实验案例验证了算法的有效性和系统的实用性。

本文研究的B/S架构评估系统,只需要在服务器上部署,便可以让用户访问网址进行评估工作,提升了工作效率,缩短了工作时间,扩大了数据处理规模,为GEO卫星频轨选取工作提供了有效的数据支持。

参考文献

- 刘畅,石会鹏,李伟.卫星网络国际协调浅析.2014全国无线及移动通信学术大会论文集.沈阳,中国.2014.305-308.
- 梁斌,徐文福,李成,等.地球静止轨道在轨服务技术研究现状与发展趋势.宇航学报,2010,31(1):1-13.[doi:10.3873/j.issn.1000-1328.2010.01.001]
- 周鑫林,巩应奎,韩朝晖.面向GEO卫星频轨协调风险的量化评估.计算机仿真,2018,35(2):410-416.[doi:10.3969/j.issn.1006-9348.2018.02.088]
- 周鑫林.GEO卫星频轨协调风险量化评估技术研究[硕士学位论文].北京:中国科学院大学,2017.
- 张杰.效能评估方法研究.北京:国防工业出版社,2009.35-70.
- 杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选.3版.北京:清华大学出版社,2015.
- 毛志慧,王艳.基于灰色模糊算法的机床产品制造系统能效评价方法.计算机系统应用,2016,25(7):1-7.[doi:10.15888/j.cnki.csa.005328]
- Sun CC. A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. Expert Systems with Applications, 2010, 37(12): 7745-7754. [doi: 10.1016/j.eswa.2010.04.066]
- 蔺美青,高玉良,翁呈祥,等.基于算子的武器系统效能柔性评估建模方法论.第十三届中国系统仿真技术及其应学术会议论文集.黄山,中国.2011.89-94.
- 刘一田,刘士进.一种柔性Web展现框架模型.计算机系统应用,2013,22(12):155-159.[doi:10.3969/j.issn.1003-3254.2013.12.030]
- 郭文明,相景丽,肖凯生.群组AHP权重系数的确定.华北工学院学报,2000,21(2):110-113.[doi:10.3969/j.issn.1673-3193.2000.02.005]
- 邵堃,罗飞,梅袅雄,等.一种正态分布下的动态推荐信任模型.软件学报,2012,23(12):3130-3148.