

文章编号: 1001-893X(2011)10-0006-05

标校系统运行性能与评估模型分析^{*}

孔 维, 马 煦, 乐四海, 陶春燕

(北京市 5136 信箱, 北京 100094)

摘 要: 为了准确掌握标校系统的运行状态, 确保 BD-1 卫星导航定位系统的服务性能, 利用模糊综合评价方法建立了一套标校系统评估模型, 在分析影响标校系统运行性能因素的基础上设计了分类等级和评价指标, 并对指标权值的确定和检验方法进行了详细论述, 最后用实例验证了评估模型的合理性和有效性, 达到了设计目标。

关键词: “北斗”卫星导航定位系统; 标校系统; 运行性能; 模糊综合评价; 评估模型

中图分类号: TN96; TP393 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.10.002

Analysis of Operation Indicators and Evaluation Model for the BD-1 Calibration System

KONG Wei, MA Xu, YUE Si-hai, TAO Chun-yan

(P.O. Box 5136, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to accurately keep informed on the operation state of the calibration system and ensure service performance of the BD-1 satellite navigation system, a calibration system evaluation model based on the fuzzy comprehensive evaluation method is proposed. According to the effect factors of the calibration system performance, the classification level and evaluation are designed, the weight indicators and testing methods are discussed. The practical operation proves that the model is reasonable and effective, so the design objectives are achieved.

Key words: Beidou satellite navigation system; calibration system; operation performance; fuzzy comprehensive evaluation; evaluation model

1 引 言

BD-1 标校系统由分布在服务区内若干已知点上的各类标校站组成, 其用途可分为测轨、定位、测高、定时和中心 5 类。标校系统是我国卫星导航定位系统的重要组成部分, 其设备运行状态及其数据质量直接影响 BD-1 卫星导航系统运行的稳定性和服务质量。由于标校系统能够在第一时间反映 BD-1 系统的运行状态, 因此对标校系统运行状况

进行评估, 对于掌握 BD-1 系统的运行状态具有重要意义, 通过合理建立评估模型不仅可以随时掌握系统运行状态, 同时能够达到及时对标校系统进行维护和完善的目的是。

BD-1 标校系统评估系统建模可采用模糊综合评价^[1,2]方法对标校系统的整体运行状况进行评估。本文针对影响标校系统运行的因素建立评价等级和评价指标, 并对指标的确定方法进行了详细描述和验证。

^{*} 收稿日期: 2011-04-11; 修回日期: 2011-09-02

2 系统评价方法

模糊综合评价法是应用模糊集理论对系统进行综合评价的一种方法,也就是根据给定的评价标准和具体的评价值经过模糊变换后,对事物作出评价的一种方法。

模糊综合评价先把要评价某一事物的多种因素按照其属性分为若干类大因素,然后对每一类大因素进行初级的评价,最后对初级评价的结果进行较高一级的综合评价。在确定评价因素、因子的评价等级标准和权值的基础上,运用模糊集合变换原理,以隶属度描述各因素及因子的模糊界线,构造模糊评判矩阵,通过多层的复合运算,最终确定评价对象所属等级,评价方法流程如图 1 所示。

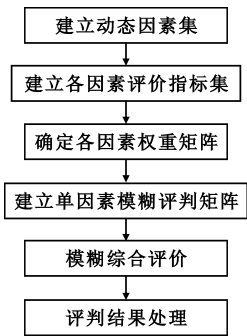


图 1 模糊综合评价方法流程

Fig.1 Fuzzy comprehensive evaluation method process

设有 n 个评价等级, m 个一级评价指标(因素),每个一级指标又包含多个二级指标(因子),并用 U 、 V 、 V_i 等符号表示,即:等级论域 $U = (u_1, u_2, \cdots, u_n)$,因素论域 $V = (V_1, V_2, \cdots, V_m)$,因子论域 $V_i = (v_1, v_2, \cdots, v_k)$ 。

由于 U 与 V 之间存在模糊关系 R ,可表示为模糊矩阵形式:

$$R = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & \cdots & u_n \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} = (r_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

式中, r_{ij} 表示第 i 个评价因素 V_i 对第 j 个等级的隶属度,它依赖于 V_i 所包含的各个因子对各等级的隶属度及各因子对因素的权重,设 V_i 所包含的第 p 个因子对第 q 个等级的隶属度为 s_{pq}^i ($p = 1, 2, \cdots, k; q = 1, 2, \cdots, n$),第 p 个因子对该因

素的权重为 w_p^i ,则

$$R = (r_{i1}, r_{i2}, \cdots, r_{in}) = (w_1^i, w_2^i, \cdots, w_k^i) \begin{bmatrix} s_{11}^i & s_{12}^i & \cdots & s_{1n}^i \\ s_{21}^i & s_{22}^i & \cdots & s_{2n}^i \\ s_{k1}^i & s_{k2}^i & \cdots & s_{kn}^i \end{bmatrix} \quad (2)$$

这样就确定了模糊关系矩阵。

记一级评价因素的权重为

$$a = (a_1, a_2, \cdots, a_m) \quad (3)$$

则综合评价结果为

$$b = aR = (b_1, b_2, \cdots, b_n) \quad (4)$$

若 $b_k = \max(b_1, b_2, \cdots, b_n)$,则评价对象属于第 k 类。

3 标校系统评估模型

3.1 等级分类

根据不同类型标校站在系统中发挥的作用,以及标校站发生故障时对系统产生的影响程度,将 BD-1 标校系统性能评估分为三级:优良、合格和不合格。

(1)优良状态即为标校站运行正常稳定,设备工况正常稳定;定位偏差一档概率每4 h统计大于等于 98% ;

(2)合格状态为标校站运行一般正常,设备工况基本稳定;平均每小时存在不大于 3 次的跳波束现象或超时报警现象,并且标校站的定位偏差一档概率每4 h统计大于等于 90% 且小于 98% ;

(3)不合格状态为标校站运行不正常,设备工况不稳定;平均每小时统计有 3 次以上失锁现象或跳波束现象,标校站的定位偏差一档概率每4 h统计小于 90% 。

根据以上评价标准,把所有标校站的评价状态结果经模糊数学算法处理后综合得出整个标校系统的运行等级状态。

3.2 系统评价指标

BD-1 标校系统的入站数据包括接收电平、入站伪距、通道载噪比、位置偏差等信息,其中接收电平反映了标校机响应出站信号的强弱程度,通道载噪比可以反映标校机形成入站信号的强弱程度,位置偏差能够反映标校机的定位精度。

标校系统评价指标^[3,4]的设计既要尽可能全面地反映出标校系统运行状态,又要尽量简单,便于操作。依据标校站的不同类别、重要性和分布,定义了 3 个

一级评价指标和 10 个二级评价指标,如表 1 所示。

表 1 各级指标及代号	
Table 1 Every indicator and sign	
一级指标(因素)	二级指标(评价因子)
中心标校站 工作状态(A1)	A、B 套设备工况正常状态(B1)
	设备定位偏差每 4 h 统计一档概率在 98% 以上(B2)
定轨标校站 工作状态(A2)	东部定轨站工作状态(3 个站)(B3)
	西部定轨站工作状态(3 个站)(B4)
	南部定轨站工作状态(3 个站)(B5)
	东南地区标校站工作状态(7 个站)(B6)
定位标校站 工作状态(A3)	西南地区标校站工作状态(6 个站)(B7)
	中部标校站工作状态(5 个站)(B8)
	北部标校站工作状态(4 个站)(B9)
	南部标校站工作状态(3 个站)(B10)

注: B3 ~ B10 的工作状态评价内容包括设备工况如发射频度、入站电平、锁定波束稳定情况以及设备定位偏差每 4 h 统计一档概率(是否在 98% 以上)。

3.2.1 指标权值确定方法

在一般情况下,至多需要 7 个标度点来区分事

物之间质的差别或重要程度的不同。本评估系统研究中引入 1 ~ 7 比率标度法^[5]表示任意两指标之间的相对重要程度,该方法将调查结果用 1 ~ 7 表示,判断矩阵标度及含义如表 2 所示。采用方根法近似求出各指标的权值,并作一致性检验,所求权值如果不符合一致性要求,就适当调整判断矩阵,直到符合要求为止。以评价因素为例,经两两比较,构造得到一级指标判断矩阵,见表 3。经检验, $CR < 0.1$ 满足一致性要求,同理可得到最终确定的二级权值,见表 4。

表 2 判断矩阵标度及含义	
Table 2 Estimation matrix index and meanings	
标度	含义
1	两个因素相比同等重要
2	两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
3	两个因素相比,一个因素比另一个因素较重要
4	两个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
5	两个因素相比,一个因素比另一个因素重要
6	两个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
7	两个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要

表 3 一级指标判断矩阵及一致性检验
Table 3 First-degree indicator estimation matrix and coincidence checkout

判断矩阵				行元素连乘	m 次方根	W_i 归一化	一致性检验结果
A	A ₁	A ₂	A ₃	$M_i = \prod_{j=1}^m \alpha_{ij}$	$W_i = \sqrt[m]{M_i}$	$\vec{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^m W_i}$	$\lambda_{\max} = 3.085\ 8$ $CI = 0.042\ 9$ $RI = 0.52$ $CR = 0.082\ 5 < 0.1$
A ₃	1	3	5	15	2.466 2	0.626 7	
A ₂	1/3	1	4	4/3	1.100 6	0.279 7	
A ₃	1/5	1/4	1	1/20	0.368 4	0.093 6	

表 4 二级指标判断矩阵及一致性检验
Table 4 Second-degree indicator estimation matrix and coincidence checkout

B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀	$M_i = \prod_{j=1}^m \alpha_{ij}$	$W_i = \sqrt[m]{M_i}$	$\vec{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^m W_i}$	一致性 检验结果
B ₁	1	1/2	2	2	2	3	4	4	4	3	2 304	2.169	0.183	
B ₂	2	1	2	2	2	3	4	4	4	3	9 216	2.491	0.210	
B ₃	1/2	1/2	1	1	1	2	3	3	3	2	27	1.390	0.117	
B ₄	1/2	1/2	1	1	1	2	3	3	3	2	27	1.390	0.117	$\lambda_{\max} = 10.114\ 4$
B ₅	1/2	1/2	1	1	1	2	3	3	3	2	27	1.390	0.117	$CI = 0.012\ 7$
B ₆	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	1	1/9	0.083	0.068	$RI = 1.49$
B ₇	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1	1	1/2	1/1 728	0.475	0.040	$CR = 0.008\ 5$
B ₈	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1	1	1/2	1/1 728	0.475	0.040	
B ₉	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1	1	1/2	1/1 728	0.475	0.040	
B ₁₀	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	1	1/9	0.083	0.068	

3.2.2 一致性检验计算方法

(1)计算一致性

首先需要计算矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}$,除了可以采用特征根方法,还可以采用下列公式:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^m \frac{(AW)_i}{m\omega_i} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij}\omega_j}{\omega_i} \tag{5}$$

(2)计算一致性指标(CI)

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \tag{6}$$

(3)查找相应平均随机一致性指标(RI)

表 5 给出了 1~15 阶正互反矩阵计算1 000次得到的平均随机一致性指标^[6],通过表 5 可以查询相关矩阵的一致性指标。

表 5 平均随机一致性指标 RI

Table 5 Average random coincidence indicator RI

矩阵阶数	RI
1	0
2	0
3	0.52
4	0.89
5	1.12
6	1.26
7	1.36
8	1.41
9	1.46
10	1.49
11	1.52
12	1.54
13	1.56
14	1.58
15	1.59

(4)计算一致性比例(CR)

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{7}$$

CR < 0.1 时,认为判断矩阵一致性是可以接受的。

4 应用实例

某日 BD-1 标校系统运行过程中,经分析统计,中心标校站、定轨标校站和定位标校站工作状态如表 6 所示。

表 6 标校系统运行情况评估实例说明

Table 6 Evaluation illustration about calibration system status

等级	因子	优良	合格	不合格	备注 (对照表 1 指标代号含义)
A1	B1	1	0	0	中心标校机 A/B 套工作都正常
	B2	0	0	1	位置偏差一档概率小于 90%
	B3	1/3	0	2/3	1 个站一档概率大于 98%, 2 个站一档概率小于 90%
A2	B4	1/3	0	2/3	1 个站一档概率大于 98%, 2 个站一档概率小于 90%
	B5	2/3	0	1/3	2 个站一档概率大于 98%, 1 个站一档概率小于 90%
	B6	4/7	1/7	2/7	4 个站一档概率大于 98%, 1 个站一档概率介于 98% 和 90%之间, 2 个站一档概率小于 90%
A3	B7	3/6	0	3/6	3 个站一档概率大于 98%, 3 个站一档概率小于 90%
	B8	3/5	2/5	0	3 个站一档概率大于 98%, 2 个站一档概率介于 98% 和 90%之间
	B9	2/4	1/4	1/4	2 个站一档概率大于 98%, 1 个站一档概率介于 98% 和 90%之间, 1 个站一档概率小于 90%
	B10	2/3	1/3	0	2 个站一档概率大于 98%, 1 个站一档概率介于 98% 和 90%之间

由表 6 显示的标校站运行情况统计,根据式(1)求模糊关系矩阵,可得

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.183 & 0 & 0.210 \\ 0.156 & 0 & 0.195 \\ 0.148 & 0.021 & 0.049 \end{bmatrix} \tag{8}$$

由式(3)求得模糊综合评价结果:

$$b = aR =$$
$$(0.6267, 0.2797, 0.0936) R =$$
$$(0.1722, 0.0020, 0.1907) \tag{9}$$

评价结果中,第三个指标值最大,所以当前标校系统的等级属于不合格。

5 结 论

通过分析 BD-1 标校系统运行指标,成功地建立了合理的标校系统运行状态评估模型。在实际应用中,达到了快速有效评判系统运行状态,并根据评估内容及时对系统设备进行维护的目的,提高了 BD-1 地面应用系统的可靠性,确保了用户定位的稳

定性和准确性,有极高的军事意义和经济效益。此外,该评估模型经验还可以推广到其它广域分布的实时监测站运行状态的评估研究中。

参考文献:

- [1] 金雪松,朱红,苏红旗.民航机场危险源严重度评价方法研究[J].中国民航飞行学院学报,2010,21(6):17-20.
JIN Xue-song, ZHU Hong, SU Hong-qi. Study on the Civil Aviation Airport Hazard Severity Evaluation Method[J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2010, 21(6): 17-20. (in Chinese)
- [2] Jia Shuo, Lu Jin-xi, Tian Ling. Research on Structure Method of Ecological Environment Impact Assessment Index-system of Water Conservancy and Hydraulic Power Engineering[C]// Proceedings of 2010 International Conference on Civil Engineering. Baoding, China: [s. n.], 2010: 987-992.
- [3] 杜红兵,李晖,袁乐平,等.基于 Fuzzy-ANP 的空管安全风险评估研究[J].中国安全科学学报,2010,20(12): 80-85.
DU Hong-bing, LI Hui, YUAN Le-ping, et al. Risk Assessment Model for Air Traffic Control Based on Fuzzy-ANP Method[J]. China Safety Science Journal, 2010, 20(12): 80-85. (in Chinese)
- [4] 岳仁田,赵巍飞,罗云.空中交通拥挤判别指标的建立与应用[J].中国民航大学学报,2008,26(3):31-35.
YUE Ren-tian, ZHAO Yi-fei, LUO Yun. Construction and Application of Congestion Discrimination Index for Air Traffic [J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2008, 26(3): 31-35. (in Chinese)
- [5] 张武略,王新富,林通,等.防空兵群指挥员综合素质模糊评价[J].舰船电子工程,2010,30(12):50-53.
ZHANG Wu-lue, WANG Xin-fu, LIN Tong, et al. Neural Network Model of the Fuzzy Evaluation System for the Com-

prehensive Quality of the Commander of Air Defence Forces Group[J]. Ship Electronic Engineering, 2010, 30(12): 50-53. (in Chinese)

- [6] 史长莹.流域水资源可持续利用评价方法及其应用研究[D].西安:西安理工大学,2009:25-41.
SHI Chang-ying. Study on Sustainable Utilization Water Resources Assessment Method and Its Application of River Basin [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009: 25-41. (in Chinese)

作者简介:

孔 维(1980—),女,河南南阳人,硕士,工程师,主要从事卫星导航定位及差分基准站研究方面的工作;

KONG Wei was born in Nanyang, Henan Province, in 1980. She is now an engineer with the M. S. degree. Her research concerns satellite navigation and differential reference station.

Email: kwnancy@126.com

马 煦(1968—),男,河北秦皇岛人,硕士,高级工程师,长期从事卫星导航定位工作及差分基准站研究;

MA Xu was born in Qinhuangdao, Hebei Province, in 1968. He is now a senior engineer with the M. S. degree. His research concerns satellite navigation, positioning and differential reference station.

Email: greatmaxu@126.com

乐四海(1974—),男,湖北洪湖人,硕士,工程师,主要从事卫星导航定位及差分基准站研究方面的工作;

YUE Si-hai was born in Honghu, Hubei Province, in 1974. He is now an engineer with the M. S. degree. His research concerns satellite navigation and differential reference station.

陶春燕(1975—),女,山东菏泽人,工程师,主要从事卫星导航定位及差分基准站研究方面的工作。

TAO Chun-yan was born in Heze, Shandong Province, in 1975. She is now an engineer. Her research concerns satellite navigation, positioning and differential reference station.

欢迎订阅全国中文核心期刊《电讯技术》

邮发代号:62-39

全国各地邮局均可订阅!