

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.03.013

引用格式:陈茜,马煦,李春霞.一种 GNSS 监测站选址模糊综合评价方法[J].电讯技术,2015,55(3):303-307. [CHEN Qian, MA Xu, LI Chunxia. A Fuzzy Synthetic Evaluation Method for Address Choosing of GNSS Monitoring Station[J]. Telecommunication Engineering, 2015, 55(3):303-307.]

一种 GNSS 监测站选址模糊综合评价方法*

陈茜**,马煦,李春霞

(北京卫星导航中心,北京 100094)

摘要:全球导航卫星系统(GNSS)监测站位置布设直接影响导航系统的服务质量,因此监测站选址在 GNSS 系统建设过程中尤为重要。从视场、电磁干扰、多路径干扰、精度因子(DOP)值、电离层格网可用度、气象环境地质条件、政治军事安全、工作环境等因素对影响监测站选址进行了全面分析,并提出了一种“硬判决-软判决”相结合的模糊综合评价监测站选址方法。“北斗”卫星导航系统(BDS)监测站选址评估实例表明,该方法达到了监测站选址高效、精确的评估效果。

关键词:全球导航卫星系统;监测站;选址因素;模糊综合评估

中图分类号:TN96 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)03-0303-05

A Fuzzy Synthetic Evaluation Method for Address Choosing of GNSS Monitoring Station

CHEN Qian, MA Xu, LI Chunxia

(Beijing Satellite Navigation Center, Beijing 100094, China)

Abstract: The deployment of Global Navigation Satellite System(GNSS) monitoring station would directly impact the service quality, so it is an important part in construction of GNSS. Based on the full analysis of the factors influencing the address choosing of monitoring station, such as visual field, electromagnetic interference, multi-path interference, dilution of precision(DOP), ionosphere availability, meteorology environment and geological condition, politics and military safety, working environment, a fuzzy synthetic evaluation method of “hard decision- soft decision” for the address choosing is put forward. The example of evaluation of address choosing of Beidou Satellite Navigation System(BDS) monitoring station shows this method can provide high-efficiency and accurate evaluation result for address choosing of monitoring station.

Key words: GNSS; monitoring station; factors of address choosing; fuzzy synthetic evaluation

1 引言

国际上正式提供导航服务的卫星导航系统主要有美国的全球定位系统(Global Positioning System, GPS)、俄罗斯的“格洛纳斯”(Global Navigation Satellite System, GLONASS)、中国的“北斗”卫星导航系统(Beidou Satellite Navigation System, BDS),每个导航系统的服务区内都部署了数十个导航监测站,这

些监测站尽全力收集视界内卫星数据,为地面运行控制系统完成卫星轨道确定、卫星钟差测定、电离层修正、广域差分改正与系统完好性监测等主要业务处理提供实时高质量的原始观测数据。监测站选址决定了原始观测量的质量,进一步影响着卫星导航系统的服务性能。

为提高全球导航卫星系统(Global Navigation

* 收稿日期:2014-10-22;修回日期:2015-02-02 Received date:2014-10-22;Revised date:2015-02-02

** 通讯作者:summerchen 127@163.com Corresponding author:summerchen 127@163.com

Satellite System, GNSS) 的服务质量,美国的 GPS 是在全球建设导航监测站,布局合理但建设昂贵;俄罗斯的 GLONASS 监测站分布受国家地理位置限制,对我国的 BDS 有一定的借鉴意义。BDS 监测站选址需要考虑的因素主要包括视场、电磁干扰、多路径干扰、地质环境、工作环境安全等;既要充分利用我国的辽阔幅员,又要尽量节约开支。针对以上因素并在总结“北斗”实验系统标校站经验的基础上,本文提出了一种模糊综合评价方法,建立了导航监测站选址评价模型。该评价方法与模型既简化了传统模糊综合评价因子,又通过硬判决与软判决相结合,实现了 BDS 监测站地址的先筛选、后优选。最后通过实例验证了评估模型的合理性和评估方法的有效性。

2 监测站站址影响因素分析

卫星导航监测站伴随着卫星导航系统的建设、运行而存在,其使用寿命长达十几年甚至数十年,因此,其选址需要充分考虑多项因素。卫星导航监测站选址不仅要考虑视场因素、电磁干扰、多路径干扰,还要考虑监测站的可用性、监测站所在城市的政治军事因素、天气气候状况及地质环境因素,也要考虑传输线缆的极限长度等安装维护方便程度。

视场大小通常以监测接收机接收导航卫星的观测截止角表示,也称视角,一般视角设置为 5°、15°两档。为了扩大卫星导航监测站的视场范围,卫星导航监测站选址应考虑监测站周边建筑物与监测站天线的位置关系。视场是监测站选址的重要评估因素,5°以上视角范围内不应有建筑物遮挡,这是监测站选址的硬性条件^[1]。

电磁干扰因素是必须重点考虑的干扰因素^[2]。电磁干扰源主要包括大型电厂变电站发出的强磁场信号、移动通信基站和广播电视发射塔发出的无线电信号、大型雷达发出的强电磁波、其他系统的导航信号。监测站选址应尽量远离这些干扰信号。

多路径干扰因素是导航监测站监测接收机伪距测量中的主要误差源^[3-4],直接影响接收机的伪码测距、载波相位和多普勒等观测数据的测量精度,降低原始观测数据质量。从监测站选址的角度,应远离树木、建筑物等容易反射造成多径信号的环境。

精度因子(Dilution of Precision, DOP)值因素是影响卫星导航服务质量的不可忽视的因素,DOP 值越小的地区定位精度越高。DOP 一般分为 1 ~ 5 级,大于 5 的地区的导航信号可用性差。

电离层格网可用度由所有监测站数据回传至中心站计算而得,对系统服务很重要。

气象条件主要是考虑台风、冰雹等极端天气对导航监测站设备的影响,极端天气也会影响信号质量,从而影响监测站回传给主控站的原始观测数据质量。

地质环境因素主要是考虑地质沉降或抬升会影响天线相位中心坐标变化,从而影响测距精度,影响原始观测数据质量。监测站地址宜选择在地壳运动不显著的区域。

政治军事安全因素主要考虑该地区的军事战略地位、我方军事力量部署、敌方军事力量配置以及社会治安、民意民情等社会安全形势。

工作环境因素主要考虑监测站长期运行需要的供水、电力、交通、供暖、燃气等以及接入公共或专用通信网络的便利程度,以节约安装维护成本,提高安装维护的便利性。

3 监测站选址模糊综合评价方法

3.1 监测站选址模糊综合评价原理及流程

模糊综合评价方法是应用模糊理论对导航监测站进行综合评价的一种方法,也是根据评价因子与加权系数经过模糊变换后对监测站站址作出评价的方法。模糊综合评价先把影响数据质量的多种因素分类,然后对每一类因素进行初级评价,最后对初级评价结果进行高一级的综合评价。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的模糊界限,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^[5]。模糊综合评价方法原理如图 1 所示。本文直接应用文献[1]的矩阵模型结论,不再赘述。

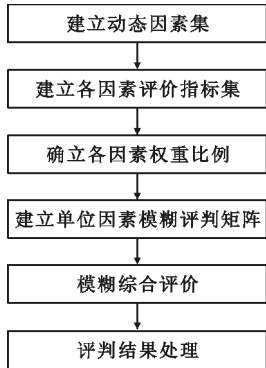


图 1 监测站选址模糊综合评价原理
Fig. 1 Principle of fuzzy synthetic evaluation for address choosing of monitoring station

监测站选址综合评价流程如图 2 所示,具体描述如下:

步骤 1:输入候选的监测站地址;

步骤 2:对监测站站址影响因素进行逐一评价;

步骤 3:评判是否所有要素都合格,是则转入步骤 4,否则转入步骤 1;

步骤 4:所有要素综合评价打分;

步骤 5:不同监测站地址打分相比较,打分最高者为优选监测站地址。

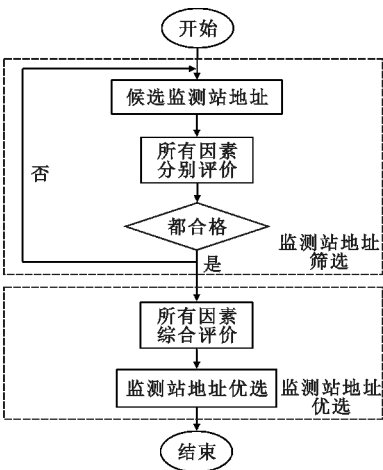


图 2 监测站选址模糊综合评价流程

Fig.2 Fuzzy synthetic evaluation processing for address choosing of monitoring station

3.2 监测站选址模糊综合评价模型

设监测站打分因素共 N 个,权数 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ 是模糊向量, $R = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ 是模糊变换器,其意义是每个评估因素的打分,则监测站选址评价的数学模型为

$$V = \text{sign}(\prod_{i=1}^N a_i) \cdot AR^T.$$

式中, Π 表示连乘运算, $\text{sign}()$ 表示取符号运算。通过取符号运算这一硬判决方法,该模型实现了监测

站选址各要素“一票否决制”原则条件下的监测站地址筛选;进一步通过各要素综合打分,可实现在筛选后的不同监测站地址间进行优选。与一般的模糊评判模型相比,该模型的区别在于根据监测站选址因素一票否决制加入了取符号运算作为硬判决。

3.3 监测站选址评价权重与打分标准

美国著名运筹学家 A. L. Saaty 在 20 世纪 70 年代初提出利用层次分析法来确定指标权值,该方法只需请专家给出指标两两之间的相对重要性比较,就可以计算出权值^[5]。

研究调查表明,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。在 BDS 监测站选址评价过程中,简化使用不超过 3 个标度来区分各个监测站评价因素的权重的不同,即两个因素相比同等重要、两个因素相比一个因素比另一个因素明显重要、两个因素相比一个因素的一等状态比另一因素重要但其二等状态没有另一个因素重要。

监测站选址权重设计如下:首先根据监测站选址因素的重要性程度,将视场、电磁干扰、多径干扰、DOP 值、电离层可用性、气象条件、地质环境、政治军事安全、工作环境共 9 项因素分成三类:第一类是视场、电磁干扰、多径干扰;第二类是 DOP 值、电离层格网可用度、气象条件;第三类是地质环境、政治军事安全、工作环境。三类之间的权重比例是 0.5 : 0.3 : 0.2,第一类中 3 项因素的权重比例为 0.5 : 0.3 : 0.2,第二类中 3 项因素的权重比例为 0.3 : 0.4 : 0.3,第三类中 3 项因素的权重比例为 0.5 : 0.3 : 0.2,计算得 9 项因素的权重比例分配如表 1 所示。由上述监测站选址模糊综合评价模型可知,各选址因素的权重即为模糊向量 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ 的取值。

表 1 监测站选址权重分配表
Table 1 Weight distribution table for address choosing of monitoring station

第一类因素			第二类因素			第三类因素		
视场	电磁干扰	多径干扰	DOP 值	电离层可用性	气象条件	地质环境	政治军事安全	工作环境
$a_1=0.25$	$a_2=0.15$	$a_3=0.10$	$a_4=0.09$	$a_5=0.12$	$a_6=0.09$	$a_7=0.10$	$a_8=0.06$	$a_9=0.04$

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ 的取值具体得分即打分标准 见表 2。

表 2 监测站选址各因素打分标准	
Table 2 Each factor score standard for address choosing of monitoring station	
因素	打分标准
视场	$r_1=2$ (截止角 $\leq 5^\circ$)
	$r_1=1$ ($5^\circ\leq$ 截止角 $\leq 15^\circ$)
	$r_1=0$ (截止角 $\geq 15^\circ$)
电磁干扰	$r_2=0$ (干扰极强)
	$r_2=1$ (干扰较弱)
	$r_2=2$ (无干扰)
多径干扰	$r_3=0$ (多径明显)
	$r_3=1$ (多径微弱)
	$r_3=2$ (无多路径)
DOP 值	$r_4=3$ ($DOP\leq 3$)
	$r_4=2$ ($4\leq DOP\leq 6$)
	$r_4=1$ ($DOP\geq 7$)
电离层可用性	$r_5=3$ (100% ~ 98%)
	$r_5=2$ (97% ~ 93%)
	$r_5=1$ ($\leq 92\%$)
气象条件	$r_6=1$ (台风冰雹极端天气地区)
	$r_6=2$ (条件好)
地质环境	$r_7=0$ 地震泥石流多发
	$r_7=1$ 构筑物稳定
政治军事安全	$r_8=0$ 存在隐患
	$r_8=1$ 无隐患
工作环境	$r_9=0$ 不便利
	$r_9=1$ 便利

4 监测站选址实例验证

东北方向选址实例:候选的地址有 DB1、DB2、

DB3、DB4、DB5,对这 5 个候选地址,逐一考核 9 项站址影响因素进行打分。以最重要的视场因素为例,DB1、DB2、DB3、DB4、DB5 的视场截止角曲线见图 3,DB1 在 360°范围的截止角均小于 5°,DB2、DB3、DB4 在 360°范围的截止角均小于 15°且大于 5°,DB5 在 360°范围的截止角均大于 15°。根据表 2 所示打分标准,DB1、DB2、DB3、DB4、DB5 的视场因素打分分别为 2、1、1、0、1。依照此法,对余下 8 项因素打分。汇总 9 项因素打分结果见表 3。

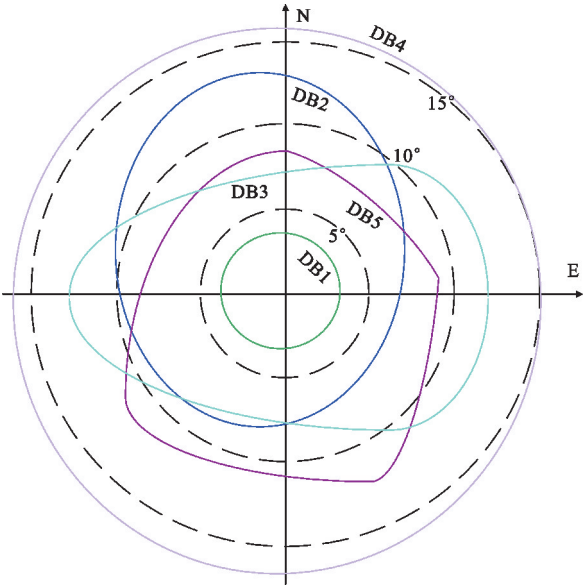


图 3 5 个候选地址 360°范围截止角曲线
Fig.3 Five spare address 360° view curve

表 3 五个候选地址打分表												
Table 3 Five spare address marking table												
地址	视场	电磁干扰	多径干扰	DOP 值	电离层可用性	气象条件	地质环境	政治军事安全	工作环境	得分	选址	
											筛选	优选
DB1	2	2	1	3	3	2	1	1	1	1.91	√	√
DB2	1	2	1	3	3	2	1	1	1	1.66	√	—
DB3	1	1	1	3	3	2	1	1	1	1.51	√	—
DB4	0	2	1	3	3	2	1	1	1	0.00	×	—
DB5	1	0	1	3	3	2	1	1	0	0.00	×	—

通过对 5 个候选地点打分筛选,其中两个站址一票否决,一是 DB4 有明显的遮挡,不适合建站;二是 DB5 附近有强电磁干扰,不适合建站。适合建站的 3 个站址经打分排序,选得分最高的 DB1 为最终优选站址。

5 结束语

本文通过研究 GPS 与 GLONASS 监测站以及

BDS 早期的标校站,得出 GNSS 监测站选址影响因素,即视场因素、电磁干扰因素、多路径干扰因素、地质环境因素、气象因素、DOP 值因素、政治军事安全因素等,并对影响监测站选址需要考虑的因素进行了全面分析,提出了一种新的模糊综合评价方法对 GNSS 监测站选址进行评估。该方法通过硬判决-软判决相结合,实现了一票否决制基础上的监测站地址优选,达到了监测站选址高效、精确的评估效

果。采用的实例数据虽然说明了方法的有效性,但在特殊地区(小岛礁)只能靠技术策略降低影响。

参考文献:

- [1] 宫磊,马煦. 卫星导航系统监测站选址因素分析[J]. 数字通信世界,2014(2):10-13.
GONG Lei, MA Xu. Specification for the Address-choosing and Construction of GNSS Monitoring Station[J]. Digital Communication World, 2014 (2): 10 - 13. (in Chinese)
- [2] 乐四海,陶春燕,张向征. 基于监测站的干扰无源定位方法研究[C]//第三届中国卫星导航学术年会论文集. 广州:中国卫星导航系统管理办公室,2012.
YUE Sihai, TAO Chunyan, ZHANG Xiangzheng. Research on interference passive location method Based on monitoring stations [C]//Proceedings of the 3rd China Satellite Navigation Academy Conference. Guangzhou: China Satellite Navigation System Office, 2012. (in Chinese)
- [3] 杨毅,甘兴利. 一种监测站多径检测和校正的新技术研究[J]. 无线电工程,2013,43(7):27-29.
YANG Yi, GAN Xingli. A Research of Multipath Detection and Calibration Method for Ground Monitoring Station [J]. Radio Engineering of China, 2013, 43 (7) :27-29. (in Chinese)
- [4] 孔维,马煦,乐四海,等. 标校系统运行性能与评估模型分析[J]. 电讯技术,2011,51(10):6-10.
KONG Wei, MA Xu, YUE Sihai, et al. Analysis of Operation Indicators and Evaluation Model for the BD-1 Calibration System [J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(10):6-10. (in Chinese)
- [5] 马煦,侯俊,瞿稳科. GPS 多路径特性分析及处理技术[J]. 电讯技术,2006,46(3):144-148.
MA Xu, HOU Jun, QU Wenke. GPS Multi-path Analysis and Processing Techniques [J]. Telecommunication Engineering, 2006, 46(3):144-148. (in Chinese)

- [6] 黄俊华,陈文森. 连续运行卫星地位综合服务系统建设与应用[M]. 北京:科学教育出版社,2009.
HUANG Junhua, CHEN Wensen. Discussion on the Method and Application of Construction in Continuous Operational Reference System(CORS) [M]. Beijing: Science Education Press, 2009. (in Chinese)
- [7] 冯晓超,吴晓莉. 基于 GNSS 监测站天线场区环境改造的多径抑制技术[C]//第三届中国卫星导航年会论文集. 广州:中国卫星导航系统管理办公室,2012:118-121.
FENG Xiaochao, WU Xiaoli. GNSS based transformation of district environmental monitoring station antenna multipath suppression technique [C]//Proceedings of the 3rd China Satellite Navigation Academy Conference. Guangzhou: China Satellite Navigation System Office, 2012:118 -121. (in Chinese)

作者简介:



陈茜(1983—),女,河北邯郸人,2007年获硕士学位,现为工程师,长期从事监测站选址建设工作;

CHEN Qian was born in Handan, Hebei Province, in 1983. She received the M. S. degree in 2007. She is now an engineer. Her research concerns address-choosing of GNSS monitoring station.

Email:summerchen 127@163.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.

李春霞(1977—),女,湖北麻城人,博士,副研究员,长期从事卫星导航信号设计与系统测试工作。

LI Chunxia was born in Macheng, Hubei Province, in 1977. She is now a vice researcher with the Ph. D. degree. Her research concerns satellite navigation signal design and system test.