



引文格式:蔡艳辉,程鹏飞,张莉,等.一种测绘地理信息质检抽样方案评价方法[J].武汉大学学报(信息科学版),2023,48(5):816-820.DOI:10.13203/j.whugis20200328

Citation: CAI Yanhui, CHENG Pengfei, ZHANG Li, et al. A Method to Evaluate Sampling Schemes Adopted in Surveying and Mapping Products' Inspection[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2023, 48(5): 816-820. DOI: 10.13203/j.whugis20200328

一种测绘地理信息质检抽样方案评价方法

蔡艳辉¹ 程鹏飞² 张莉¹ 徐彦田²

¹ 国家测绘产品质量检验测试中心,北京,100830

² 中国测绘科学研究院,北京,100830

摘要: 抽样检验是测绘成果质量检验的基本方法,抽样方案与被检成果质量水平的匹配程度直接决定抽样检验的效果。针对抽样方案的适用性和有效性评价问题,提出了计数型抽样方案的质量不确定性区间(quality uncertainty interval, QUI)的概念,并以给定概率水平条件下的 QUI 的长度评价抽样方案的适用性和有效性,以比较客观地反映抽样方案的两类风险程度。对 4 个典型测绘成果质量检验的抽样方案和 6 个仿真抽样方案进行数值计算和分析,验证了该方法的正确性和合理性。结果显示,该方法不仅适用于测绘地理数据的统计分析和成果质量检验,还可用于各种计数型抽样方案设计和两类风险控制。

关键词: 测绘成果质量;抽样检验;抽样方案;两类错误;操作特性曲线;质量不确定区间

中图分类号: P207

文献标识码: A

收稿日期: 2021-02-01

DOI: 10.13203/j.whugis20200328

文章编号: 1671-8860(2023)05-0816-05

A Method to Evaluate Sampling Schemes Adopted in Surveying and Mapping Products' Inspection

CAI Yanhui¹ CHENG Pengfei² ZHANG Li¹ XU Yantian²

¹ National Quality Inspecting and Testing Center of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China

² Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China

Abstract: Objectives: Sampling inspection is a fundamental approach in quality management and controlling of surveying and mapping achievements. The matching degree between the sampling scheme and the quality level of the tested results directly affects the result of quality inspection. **Methods:** To evaluate the suitability and validity of sampling schemes, we construct the concept of quality uncertainty interval (QUI) for counting sampling schemes. The suitability and validity of the sampling schemes are evaluated by the length of QUI at a given probability level, so as to objectively reflect the two types of risk degrees of the sampling schemes. **Results:** The correctness and rationality of the method are verified by numerical calculation and analysis of four typical sampling schemes for quality inspection of surveying and mapping results and six simulated sampling schemes. **Conclusions:** The results show that the proposed method is not only suitable for statistical analysis of surveying and mapping data and quality inspection of results, but also for various count-based sampling scheme designs and two types of risk control.

Key words: quality of surveying and mapping products; sampling inspection; sampling scheme; two types of errors; operating characteristic curve (OC); quality uncertainty interval (QUI)

抽样检验^[1-3]是测绘成果质量控制和验收的基本方法,包括抽样过程及样本质量检查和评价,其中抽样过程又称抽样方案,包括样本量确定和样本抽取以及批次合格/不合格的判定准

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFB0501405);国家测绘产品质量检验测试中心“质量之翼”项目(2020-zlzy-015);中国测绘科学研究院基本科研项目(AR1903)。

第一作者: 蔡艳辉,博士,研究员,主要从事卫星导航定位高精度定位和测绘产品质量检验的理论研究。caianhui27@163.com

则^[2]。测绘成果质检的抽样方案并不直接涉及质量元素及其检查相关内容,计数型抽样过程实际是完全的古典概率论和假设检验方面的命题,但由于抽样对象是测绘地理信息成果,成果的统计特性和质量分布影响检验的结果。

测量值的不确定性和两类错误概率在假设检验中是客观存在的,基于抽样统计的检验和分析都存在错误风险^[3]。在测绘地理信息领域内,该问题的研究主要集中在空间数据不确定性理论^[4]和可靠性理论^[5]方面。文献多从测量误差和空间位置的不确定性^[6-7]、遥感与地理信息数据的不确定性^[8-9]、地理信息系统中几何特征不确定性^[9-10]、可靠性度量^[11]等方面研究测绘地理信息数据本身涉及的空间和语义不确定性问题。为确保检验结论的可靠性,有学者建议将 GIS 产品极限质量不合格率设定为 3%~5%^[12];也有学者基于大批量地理信息数据和数字地图产品自身特点给出了不同的抽样方案和极限质量^[13-14],但未对抽样方案的适用条件进行分析;基于两类错误概率的计算,蔡艳辉等^[15]分析了 GB/T 24356—2009 标准采用的抽样方案,发现在低不合格率条件下高纳伪风险是测绘成果抽样检验的固有特性。在计数型抽样中如何确定一个给定抽样方案的适用条件和效果的相关研究较少。

本文基于接收质量限(acceptance quality limit, AQL)和批容许缺陷合格率(lot tolerance percent defective, LTPD)概念^[1],提出了计数型抽样方案的两类错误质量限和质量不确定性区间(quality uncertainty interval, QUI)概念,并以此描述抽样方案的特征,评价抽样方案的适用性和有效性。通过 4 个典型的测绘成果质量验收的抽样方案和 6 个仿真的抽样方案的数值计算和分析,验证了本文方法的正确性和合理性。该方法可用于测绘地理数据的统计分析和成果质量检验,还可用于计数型抽样方案设计和两类错误风险控制。

1 质检抽样方案的 QUI

1.1 抽样方案的接收概率

测绘产品质量检验一般采用不放回抽样检验,通常采用四元组 (N, n, A_c, R_c) 表示抽样方案模型^[3],其中, N 为批量, n 为抽取的样本量, A_c 为可接受的不合格品数, R_c 为拒绝的不合格品数,当 $R_c = A_c + 1$ 时,可表示为 (N, n, A_c) 。假设批量中有 $d(d \leq N)$ 个不合格品,现从中采用不放回抽样,抽取 n 个样品,构成样本,则抽到 $i(i \leq d)$

个不合格品的概率服从超几何分布:

$$P_i = C_d^i C_{N-d}^{n-i} / C_N^n \quad (1)$$

抽到不超过 k 个不合格品的概率定义为接收概率,即:

$$L(k) = \sum_{i=0}^k P_i = \sum_{i=0}^k C_d^i C_{N-d}^{n-i} / C_N^n \quad (2)$$

根据产品的不合格率 $p, d = N \times p$ 。当 $N > 10n$,且 $p < 10\%$ ^[3]时,对于给定不合格率的计数型大批量随机抽样,可近似采用二项分布代替超几何分布,即:

$$L(p) = \sum_{d=0}^k C_n^d p^d (1-p)^{n-d} \quad (3)$$

对于给定的抽样方案,式(3)构成的曲线即为操作特性曲线(operating characteristic curve, OC)。对于给定的质量限 p_0 和 $p_1, d_0 = N \times p_0, d_1 = N \times p_1$,则该抽样方案的弃真和纳伪概率^[3,15-17]为:

$$\begin{cases} \alpha = 1 - L(p_0) = 1 - \sum_{d=0}^{A_c} C_n^d p_0^d (1-p_0)^{n-d} \\ \beta = L(p_1) = \sum_{d=0}^{A_c} C_n^d p_1^d (1-p_1)^{n-d} \end{cases} \quad (4)$$

式中, α 为弃真概率; β 为纳伪概率。对于不放回抽样,由于已抽取的样品对后续样品的抽取有影响,因此,属于不等概率抽样。但当批量 N 很大,且 $N > 10n$ 时,可近似认为是等概率抽样。

1.2 抽样方案的 QUI

对于给定批量为 N ,且整体质量不合格率未知的总体,假设检验问题:(1) H_0 :当该批产品的不合格率小于 p_0 时,接收该批产品;(2) H_1 :当该批产品的不合格率大于 p_1 时,拒绝该批产品。

该假设检验问题就是 P 值检验问题^[18-19],通过直接计算抽样方案在给定不合格率条件下的接收概率,对假设进行判断。其中, H_0 的不合格率 p_0 即为 AQL, H_1 的不合格率 p_1 即为 LTPD。由式(3)可知,对于确定的抽样方案,接收概率与产品不合格率具有唯一的对应关系,因此可将特定接收概率对应的产品不合格率作为抽样方案的特征。

对于确定的抽样方案 (N, n, A_c) ,在显著水平 $\beta = 0.10$ 和 $\alpha = 0.05$ 条件下,定义产品不合格率大于 p_0 且小于 p_1 的区间为抽样方案 (N, n, A_c) 的标准 QUI Δp 及其长度 $L_{\Delta p}$ 为:

$$\begin{cases} \Delta p = (p_{\beta=0.10}, p_{\alpha=0.05}) \\ L_{\Delta p} = p_{\beta=0.10} - p_{\alpha=0.05} \end{cases} \quad (5)$$

式中, $p_{\alpha=0.05}$ 为抽样方案 (N, n, A_c) 的标准 AQL;

$p_{\beta=0.10}$ 为抽样方案 (N, n, A_c) 的标准LTPD。定义抽样方案 (N, n, A_c) 的标准辨别率(odds ratio, OR)^[3]为:

$$O_R = p_{\beta=0.10} / p_{\alpha=0.05} \quad (6)$$

抽样方案的 Δp 和辨别率OR从两个不同方面反映了该抽样方案对高质量产品以低概率拒收和低质量产品以高概率拒收的综合能力。 Δp 越小,抽样方案的检验效果越理想,反映的是成果质量的绝对水平;OR值越小,抽样方案辨别率越高,反映的是相对水平,通过抽样方案 (N, n, A_c) 的 A_c 值可以调整OR值,在OC曲线上,反映的就是该曲线的平缓程度。

2 QUI的抽样方案评价

2.1 质量水平的计算

对于给定的抽样方案 (N, n, A_c) ,在已知接收概率的条件下,由式(3)可计算对应的质量水平 p ,但是该方程为超越方程,直接求解非常困难,通常采用数值逼近算法求解,其中牛顿迭代算法逼近求解 p_0 和 p_1 效果较好,即:

$$x_{n+1} = x_n - f(x_n) / f'(x_n) \quad (7)$$

其中:

$$\begin{cases} f(x) = \sum_{d=0}^{A_c} C_n^d x^d (1-x)^{n-d} - a_0 \\ f'(x) = \sum_{d=0}^{A_c} \frac{d-nx}{x(1-x)} C_n^d x^d (1-x)^{n-d} \end{cases} \quad (8)$$

当 $|x_{n+1} - x_n| < \xi$ 时(ξ 为求解精度), x_{n+1} 即为所求结果。根据抽样方案的QUI定义,当 $\alpha = 0.05, \beta = 0.10$ 时,由式(4)可得:

$$\begin{cases} \alpha = 1 - L(p_0) = 1 - \sum_{d=0}^{A_c} C_n^d p_0^d (1-p_0)^{n-d} = 0.05 \\ \beta = L(p_1) = \sum_{d=0}^{A_c} C_n^d p_1^d (1-p_1)^{n-d} = 0.10 \end{cases} \quad (9)$$

求解 p_0 时, $a_0 = 0.95$;求解 p_1 时, $a_0 = 0.10$ 。 Δp 和OR值是抽样方案对“弃真”和“纳伪”两类风险的反映能力。

2.2 抽样方案的评价

表1展示了推荐的抽样方案的有效性评价指标。

表1 抽样方案的有效性评价指标

Tab.1 Effectiveness Items of Sampling Schemes

指标	方法	评价
样本质量分辨率	通过样本量计算单位样本的百分比	是否能够反映弃真概率质量限
弃真概率质量限	比较声称的弃真概率的质量限与抽样方案计算的弃真概率质量限的大小	计算值是否大于声称值
纳伪概率质量限	比较声称的纳伪概率的质量限与抽样方案计算的纳伪概率质量限的大小	计算值是否小于声称值
QUI长度	比较声称的QUI长度与抽样方案计算的QUI长度的大小	计算值是否小于声称值
OR值	比较声称的OR值与抽样方案计算的OR值大小	计算值是否小于声称值

在给定两类错误概率条件下,抽样方案 (N, n, A_c) 可以唯一确定 Δp 和OR值,因此, Δp 和OR值可直接作为抽样方案的特征值,用于评估抽样方案的有效性。

3 抽样方案的实例分析

为了验证本文方法,选取了国标GB/T 24356—2009中典型的4个抽样方案,分别计算了4种不同质量水平条件下各个抽样方案的接收

概率(见表2,GB/T 24356—2009要求测绘成果抽样检验的 $A_c = 0$)和QUI(见表3, $\beta = 0.10$ 和 $\alpha = 0.05$),其OC曲线如图1所示。

表2 4个典型抽样方案的接收概率

Tab.2 Acceptable Probabilities of Four Typical Sampling Schemes

批量	样本量	$p=0.3\%$	$p=0.5\%$	$p=1.0\%$	$p=5.0\%$
140	12	0.965	0.942	0.886	0.540
160	13	0.962	0.937	0.878	0.513
180	14	0.959	0.932	0.869	0.488
200	15	0.956	0.928	0.860	0.463

表3 4个典型抽样方案的QUI

Tab.3 QUI of Four Typical Sampling Schemes

批量	样本量	批量分辨率/%	样本分辨率/%	$p_0/\%$	$p_1/\%$	Δp 长度/%	OR值
140	12	0.7	8.3	0.4	17.5	17.1	43.8
160	13	0.6	7.7	0.4	16.2	15.8	40.5
180	14	0.6	7.1	0.4	15.1	14.7	37.8
200	15	0.5	6.7	0.4	14.2	13.8	35.5

表 2 的结果反映出,当被检测的测绘成果质量较好(不合格率低于 1%)时,接收概率较高;当不合格率达到 5% 时,接收概率只有 50% 左右。

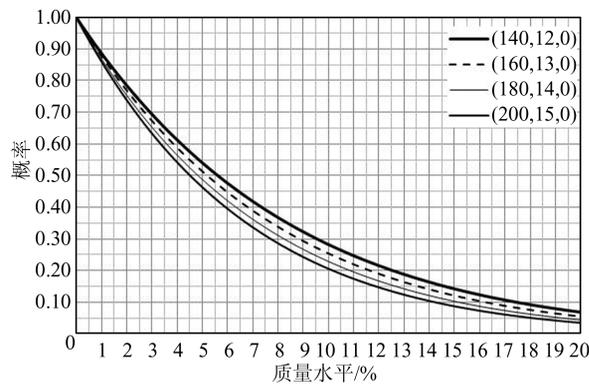


图 1 4 个方案的 OC 图

Fig.1 OCs of Four Typical Sampling Schemes

表 3 和图 1 的结果反映出:(1)4 个抽样方案的标准 AQL 都是 0.4%,意味着这 4 个抽样方案只适用于高质量的测绘产品成果的抽样检验,客观要求测绘成果的质量必须很好。(2)4 个抽样方案的标准 LTPD 都大于 14%。表明该检验方案

对低质量成果的拒绝能力较弱,如抽样方案(200, 15, 0),当产品不合格率达到 14.2%(即 29 个不合格品)时,才能以高概率拒绝该批产品,在实际应用中,将导致较多不合格品未被检测到,实际纳伪风险较大。(3)4 个抽样方案的 QUI 长度都大于 10%,即 OC 曲线过于平缓。该值反映了检验方案的功效,当超过名义的 QUI 长度时,检验功效较低,当小于名义 QUI 长度时,检验功效较高。(4)样本的质量分辨率与标准 AQL 相差太大,如抽样方案(200, 15, 0)的样本的质量分辨率是其标准弃真概率质量限的 16.75 倍($6.7/0.4 = 16.75$),相比抽样方案的要求,后验质量估计将出现较大偏差。(5)4 个抽样方案的 OR 值普遍较大,该值反映了纳伪风险与弃真风险的比例关系,也是检验功效的判定重要指标。

由式(3)可知,对于给定的抽样方案,其 OC 曲线和 QUI 还和可接受不合格数 A_c 有关。为进一步验证本文方法,另外选择了 6 个抽样方案,分别仿真计算了 $A_c = 0, 1, 3$ 条件下的 QUI 数值(见表 4, $\beta = 0.10$ 和 $\alpha = 0.05$),图 2 为其 OC 曲线。

表 4 6 个仿真抽样方案的 QUI

Tab.4 QUI Values of 6 Simulated Sampling Schemes

批量	样本量	样本分辨率/%	A_c	$(A_c/n)/\%$	$p_0/\%$	$p_1/\%$	Δp 长度/%	OR 值
			0	0.0	0.4	14.2	13.8	35.5
200	15	6.7	1	6.7	2.4	23.5	21.1	9.8
			3	20.0	9.7	39.3	29.6	4.1
			0	0.0	0.2	6.9	6.7	34.5
490	32	3.1	1	3.1	1.1	11.5	10.4	10.5
			3	9.4	4.4	19.7	15.3	4.5

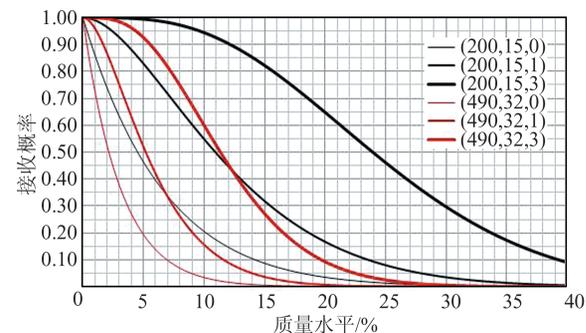


图 2 6 个仿真抽样方案的 OC 图

Fig.2 OCs of 6 Simulated Sampling Schemes

除了与表 3 和图 1 相同的结论外,表 4 和图 2 的结果还反映出,随着 A_c 增加,AQL 和 LTPD 都将增大,且 QUI 长度也增大,曲线变得平缓,但 OR 值下降。本质上,增加 A_c ,就是对产品质量水平的先验值进行调整,人为降低了纳伪风险,表现为纳伪风险和弃真风险比例值的显著变化。

以上结果表明,任何一个确定的抽样方案都有其特定的两类风险适用条件,只有当被检产品的质量状态与该适用条件相匹配时,该抽样方案才能最大限度发挥作用。

4 结 语

测绘成果的质量关系到应用的安全,抽样检验是质量把关的重要方法。本文基于假设检验的两类错误概率,给出了计数抽样检验中抽样方案的 QUI 的概念定义和计算方法,并利用 QUI 长度对抽样方案的有效性进行了评价。数值计算结果表明,该方法能够较好地反映抽样方案的适用条件和有效性,对抽样检验的方案设计和风险控制具有重要意义。该方法不仅适用于测绘成果的抽样检验风险控制,还可以应用于其他类似计数型抽样检验的分析。

参 考 文 献

- [1] Dodge H F, Romig H G. A Method of Sampling Inspection [J]. *The Bell System Technical Journal*, 1929, 8(4): 613-631.
- [2] Sampling Procedures for Inspection by Attributes—Part 1: Sampling Schemes Indexed by Acceptance Quality Limit (AQL) for Lot-by-Lot Inspection: GB/T 2828.1—2012 [S]. Beijing, China: National Standard of China, 2013. (计数抽样检验程序. 第1部分: 用于逐批检验按可接受质量界限(AQL)检索的抽样计划: GB/T 2828.1—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.)
- [3] Xin Haihong. Sampling Inspection Technology [M]. Beijing, China: China Metrology Publishing House, 2005. (信海红. 抽样检验技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 2005.)
- [4] Goodchild M, Haining R, Wise S. Integrating GIS and Spatial Data Analysis: Problems and Possibilities [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1992, 6(5): 407-423.
- [5] Li Deren. Some Thoughts on Spatial Data Uncertainty in GIS [J]. *Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping*, 2006, 23(6): 391-392. (李德仁. 对空间数据不确定性研究的思考[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(6): 391-392.)
- [6] Shi W Z. Modeling Uncertainty in Geographic Information and Analysis [J]. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 2008, 51(1): 38-47.
- [7] Helton J C, Johnson J D, Sallaberry C J, et al. Survey of Sampling-Based Methods for Uncertainty and Sensitivity Analysis [J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2006, 91(10/11): 1175-1209.
- [8] Shu Hong, Qi Cuihog. Semantics and Computation of Temporal Uncertainty in Geographical Information [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(7): 633-636. (舒红, 齐翠红. 地理信息时态不确定性的语义与计算[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(7): 633-636.)
- [9] Lin Zongjian, Zhang Yonghong. Measurement of Information and Uncertainty of Remote Sensing and GIS Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(7): 569-572. (林宗坚, 张永红. 遥感与地理信息系统数据的信息量及不确定性[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(7): 569-572.)
- [10] Shi Wenzhong, Tong Xiaohua, Liu Dajie. An Approach for Modeling Error of Generic Curve Features in GIS [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2000, 29(1): 52-57. (史文中, 童小华, 刘大杰. GIS中一般曲线的不确定性模型[J]. 测绘学报, 2000, 29(1): 52-57.)
- [11] Wang Jinling, Chen Yongqi. On the Reliability Measure of Observations [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 1994, 23(4): 252-258. (王金岭, 陈永奇. 论观测值的可靠性度量[J]. 测绘学报, 1994, 23(4): 252-258.)
- [12] Liu Dajie, Liu Chun. Study on Sampling Inspection Schemes to Digital Products in GIS [J]. *Journal of Wnhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000, 25(4): 348-352. (刘大杰, 刘春. GIS数字产品质量抽样检验方案探讨[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(4): 348-352.)
- [13] Wang Zhenhua, Tong Xiaohua, Liang Dan, et al. Sampling Inspection Schemes for Continuous Lot Spatial Data [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2010, 38(5): 749-752. (王振华, 童小华, 梁丹, 等. 连续大批量空间数据质量抽样检验方案[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(5): 749-752.)
- [14] Liu Chun, Liu Dajie, Shi Wenzhong. Study of Quality Sampling Inspection with Seed-Map to Digital Products in GIS [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(z): 99-102. (刘春, 刘大杰, 史文中. GIS数字地图质量量子幅抽样方案的探讨[J]. 测绘学报, 2002, 31(z): 99-102.)
- [15] Cai Yanhui, Cheng Pengfei, Zhang Li, et al. Probabilities of Two Types of Errors in Sampling Inspection for Surveying and Mapping Products [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2019, 48(8): 954-959. (蔡艳辉, 程鹏飞, 张莉, 等. 测绘地理信息产品抽样检验的两类错误概率[J]. 测绘学报, 2019, 48(8): 954-959.)
- [16] Liu Fengxia. Geometrical Interpretation to Two Types of Errors in Hypothesis Verification [J]. *Journal of Bohai University (Natural Science Edition)*, 2007, 28(3): 251-253. (刘凤霞. 假设检验中两类错误的几何解释[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2007, 28(3): 251-253.)
- [17] Wu Guanglu. Two Kinds of the Errors in the Statistical Inspection and a Determination of the Rejection Region [J]. *Journal of Chang'an University Earth Science Edition*, 1990, 12(1): 114-117. (吴光鲁. 统计检验中两类错误与拒绝域的确定[J]. 长安大学学报(地球科学版), 1990, 12(1): 114-117.)
- [18] Fisher R. *Statistical Methods for Research Workers* [M]. New York, USA: Springer, 1992.
- [19] Fisher R. *The Design of Experiments* [M]. New York, USA: Macmillan Publishers, 1971.