



中华人民共和国国家标准

GB/T 39468—2020

陆地定量遥感产品真实性检验通用方法

General methods for the validation of terrestrial quantitative remote
sensing products

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 直接检验通用方法 2

 4.1 直接检验步骤 2

 4.2 空间异质性分析方法 3

 4.3 空间抽样方法 3

 4.4 尺度转换方法 4

5 间接检验通用方法 4

 5.1 间接检验步骤 4

 5.2 交叉检验法 5

 5.3 时空变化趋势分析检验法 5

 5.4 基于地面观测与高分辨率遥感数据的多尺度逐级检验法 5

6 评价方法 6

 6.1 遥感产品与相对真值/参考对象一致性评价 6

 6.2 遥感产品真实性检验过程不确定性评价 6

附录 A (资料性附录)地表空间异质性分析方法 7

附录 B (资料性附录)空间抽样模型 10

参考文献 16

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国科学院提出。

本标准由全国遥感技术标准化技术委员会(SAC/TC 327)归口。

本标准起草单位：中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院青藏高原研究所、中国科学院空
天信息创新研究院、中国资源卫星应用中心。

本标准主要起草人：葛咏、胡茂桂、王江浩、李新、王劲峰、张仁华、吴骅、柳钦火、王新鸿、潘志强、
刘照言。



陆地定量遥感产品真实性检验通用方法

1 范围

本标准规定了陆地定量遥感产品真实性检验的直接检验通用方法、间接检验通用方法以及评价方法。

本标准适用于陆地定量遥感产品的真实性检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是标注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是未注明日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 36296—2018 遥感产品真实性检验导则

3 术语和定义

GB/T 36296—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

估计量 estimator

通过样本对总体属性的统计推断值。

[GB/Z 33451—2016,定义 3.1.18]

3.2

样本 sample

由一个或多个抽样单元构成的总体的子集。

[GB/T 3358.2—2009,定义 1.2.17]

3.3

抽样 sampling

抽取或组成样本的行动。

[GB/T 3358.2—2009,定义 1.3.1]

3.4

抽样单元 sampling unit

将总体进行划分后的每一部分。

注 1: 抽样单元可以分级,总体由初级(抽样)单元组成,每个初级(抽样)单元由二级抽样单元组成,依此类推。

注 2: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 1.2.14。

3.5

简单随机抽样 simple random sampling

从总体中抽取 n 个抽样单元构成样本,使 n 个抽样单元所有的可能组合都有相等被抽到概率的抽样。

[GB/T 3358.2—2009,定义 1.3.4]



3.6

系统抽样 systematic sampling

将总体中的抽样单元按一定的顺序排列,在规定的范围内随机抽取一个或一组初始单元,然后按照一定规则确定其他样本单元的抽样。

[GB/T 3358.2—2009,定义 1.3.12]

3.7

分层抽样 stratified sampling

样本抽自于总体不同的层,且每个层至少有一个抽样单元入样的抽样。

注 1: 总体的单位按某种特征分为若干次级总体(层),然后再从每一层内进行随机抽样,组成一个样本。

注 2: 改写 GB/T 3358.2—2009,定义 1.3.6。

3.8

克里格模型 kriging model

以变异函数理论和结构分析为基础,考虑样点的大小、形状、空间分布等几何特征,在有限区域内通过有限的样本点对该区域或内部的某个局部区域的取值进行最优无偏估计的模型。

3.9

非均质表面均值估计模型 mean of surface with non-homogeneity model; MSN

针对可通过分层实现层内均质的异质空间表面,综合考虑层内及层间空间相关性,对该异质空间表面均值进行最优无偏估计的模型。

4 直接检验通用方法

4.1 直接检验步骤

直接检验的检验流程见图 1。

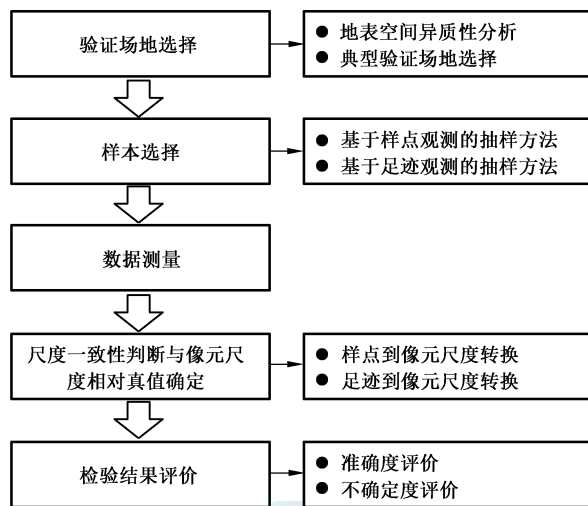


图 1 直接检验流程

主要步骤如下:

- a) 验证场地选择:根据观测目标的地表空间异质性情况(分析方法见 4.2),在产品覆盖范围内宜选取不同下垫面或产品覆盖范围内目标变量的高、中、低值像元或区域,推荐选择均质区域的中心地带作为验证场或观测场。

- b) 样本选择:按 4.3 选择抽样方法,进行样本量确定和样本选取。
- c) 数据测量:根据选取的样本,在像元尺度上选择相应的测量仪器对目标变量进行连续观测或选取具有代表性的时间点进行观测。
- d) 尺度一致性判断与像元尺度相对真值确定:根据待检产品像元大小,判断测量数据空间尺度是否满足需求。如果满足,可直接进行比较验证;否则,按 4.4 的要求选择尺度转换方法估计像元尺度相对真值。
- e) 检验结果评价:比较像元尺度相对真值与待检产品值,从准确度和不确定度两个方面评价定量遥感产品与相对真值之间的一致程度及其不确定性。

4.2 空间异质性分析方法

根据空间异质性,陆地表面可分为均质地表和非均质地表两类。推荐采用空间自相关性分析或空间方差分析等方法计算地表变量在空间上的差异性,如空间自相关 Moran's I 指数(参见附录 A 中 A.1)、半变异函数(参见 A.2)、变差系数(参见 A.3)或地理探测器 q 指数(参见 A.4)等方法,结合待检验遥感产品的尺度、地表特征以及专家知识确定地表空间异质性。

4.3 空间抽样方法

4.3.1 基于样点观测的抽样方法

对基于样点观测目标的抽样应根据地表情况选择抽样模型(参见附录 B),具体要求如下:

- a) 当观测目标的空间分布不具有空间自相关性且不具有空间分层异质性时,宜使用简单随机抽样模型或系统抽样模型;
- b) 当观测目标的空间分布不具有空间自相关性但具有空间分层异质性时,宜使用分层抽样模型;
- c) 当观测目标的空间分布具有空间自相关性但不具有空间分层异质性时,宜使用考虑空间自相关性的空间抽样模型,如克里格模型;
- d) 当观测目标的空间分布同时具有空间自相关性和空间分层异质性时,宜使用考虑空间自相关性和分层异质性的抽样模型,如 MSN 模型;
- e) 当需要对观测目标进行多个尺度估计时,可使用两阶段抽样策略,即将 a)~d) 抽样模型得到的抽样样本作为初级抽样单元,在各初级抽样单元内部进行二级抽样,得到次级抽样单元;
- f) 当观测目标的空间结构特征随时间发生较大变化时,可采用系统抽样模型布设样本点;在观测数据收集完成之后,根据数据分析体现出来的是否具有空间自相关性和空间分层异质性选择估算方法。

4.3.2 基于足迹观测的抽样方法



陆地定量遥感产品(如蒸散发产品等)的地面实测值可基于足迹观测表征的,应根据待检验产品的空间异质性特点,结合足迹观测仪器(如涡动相关仪、大孔径观测仪、宇宙射线观测仪等)的特点,选择合适的空间抽样方法(参见附录 B),具体要求如下:

- a) 当待检验像元为均质地表时,宜采用系统抽样模型进行样本布设;
- b) 当待检验像元为非均质地表且随时间变化不大时,根据观测目标空间特征进行空间分区,宜采用分层抽样模型进行样本布设;
- c) 当待检验像元为非均质地表且随时间变化时,应利用辅助信息,结合先验知识确定代表性强的观测点位置。

4.4 尺度转换方法

4.4.1 样点观测值到像元尺度转换

结合各样本点的实测数据和变量特性,选择尺度转换模型进行像元相对真值估计。不同地表类型尺度转换要求如下:

- a) 均质地表待检验像元:结合先验知识,如果单个样点能够代表整个像元所覆盖的地表,则不需要尺度转换;否则,宜采用简单随机抽样统计推断模型进行样点观测值到像元尺度的转换;
- b) 非均质地表待检验像元:当观测目标不具有空间自相关性但具有空间分层异质性时,宜采用分层抽样统计推断模型;当观测目标具有空间自相关性但不具有空间分层异质性时,宜采用克里格统计推断模型;当观测目标既具有空间自相关性又具有空间分层异质性时,宜采用 MSN 统计推断模型。

4.4.2 足迹观测值到像元尺度转换

采用足迹观测的陆地定量遥感产品,应通过分析观测变量足迹的空间变异规律,选择相应的足迹观测值到像元尺度转换方法。在尺度转换过程中,应确保地面观测值的范围与遥感产品的尺度一致性、时间一致性。具体要求如下:

- a) 当待检验场地为像元尺度时,可根据待检验像元内地表的均质情况分别选择不同的尺度转换方法:
 - 均质地表待检验像元:应通过足迹范围对所占地表面积进行面积加权得到像元尺度的相对真值。
 - 非均质地表待检验像元:应根据足迹观测值,结合辅助信息,将观测区域离散化分成合适尺寸的网格,然后根据统计模型获得像元尺度的相对真值。推荐先采用面到点克里格方法进行插值,再利用点到面克里格方法,将待估值区域内网格值转换到像元尺度。
- b) 当待检验场地为区域尺度时,可结合变量的物理意义和足迹观测值,使用物理模型进行区域尺度的真值估算。

5 间接检验通用方法

5.1 间接检验步骤

当无法通过地面观测得到像元相对真值时,可基于间接检验方法,利用参考对象对陆地定量遥感产品进行真实性检验,检验流程见图 2。

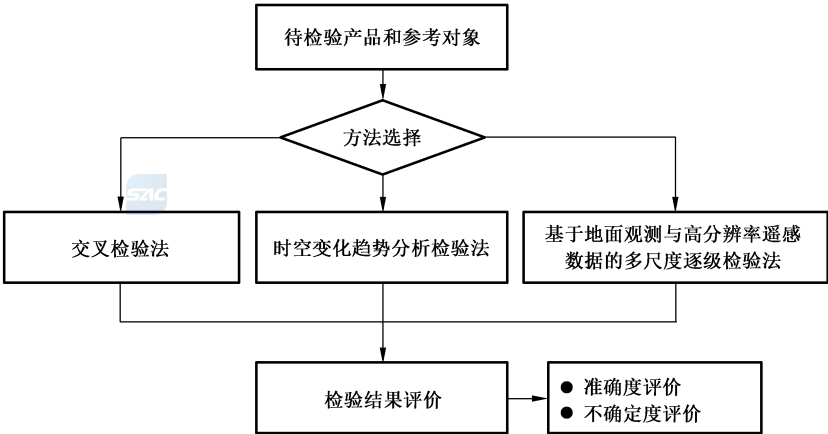


图 2 间接检验流程

主要步骤如下：

- a) 参考对象可获得性分析：根据待检验产品特点，确定具有遥感产品真实性检验可接受参考值的数据或产品。
- b) 检验方法选择：根据待检验产品和参考对象的特点，选择合适的间接检验方法，包括交叉检验法、时空变化趋势分析检验法和基于地面观测与高分辨率遥感数据的多尺度逐级检验法。
- c) 检验结果评价：比较像元尺度参考对象值与待检产品值，从准确度和不确定度两个方面评价遥感产品与参考对象之间的一致程度及其不确定性。

5.2 交叉检验法

交叉检验法适用于同时检验多种定量遥感产品且直接检验法无法实施的情况。该方法将已经过检验的定量遥感产品，或多种已检验遥感产品的均值作为相对真值，检验待检验的遥感产品。交叉检验法侧重于评价遥感产品的相对准确度。检验流程应符合 GB/T 36296—2018 中 8.2.1 的规定。

交叉检验中涉及的通用方法包括：

- a) 交叉检验产品选择方法：宜选用与待检产品同类型的已检陆地定量遥感产品作为参考对象。
- b) 空间、时间、光谱与角度一致性转换方法：应保证待检产品与已检验产品的空间、时间、光谱和角度一致可比，如存在差异，应采用以下方法进行一致性转换：
 - 空间一致性转换：若待检验产品与已检产品的空间分辨率的大小存在差异、像元之间空间错配、或者投影坐标体系不一致，应采用遥感产品几何校正方法将待检验产品与已检产品进行空间配准；
 - 时间一致性转换：若待检验产品与已检产品的时间存在差异，宜根据待检验产品与已检产品的时间序列特点进行时间一致性转换；
 - 光谱一致性转换：若待检验产品与已检产品的成像光谱不一致，宜采用光谱匹配等方法进行光谱一致性转换；
 - 角度一致性转换：若待检验产品与已检产品的成像角度不一致，宜采用二向性反射函数等方法进行角度一致性转换。
- c) 检验样本抽样方法：宜采用简单随机抽样方法（参见 B.1）选择样本进行验证对比。

5.3 时空变化趋势分析检验法

时空变化趋势分析检验法适用于直接检验和交叉检验都无法实施，但已有待检验定量遥感产品时空变化趋势先验知识的情况。该方法将待检验遥感产品时空变化趋势与相关影响因子的时空变化趋势进行比较，分析其一致性。检验流程应符合 GB/T 36296—2018 中 8.2.3 的规定。

时空变化趋势分析检验的通用方法包括：

- a) 时空变化趋势分析方法：对待检陆地定量遥感产品、影响因子分别进行时间变化或空间变化趋势分析，在一定时空范围内获取它们的时空变化趋势规律：
 - 时间变化趋势分析：分析一定时间范围内待检验陆地定量遥感产品与影响因子的时间变化趋势规律，如周期、频率、振幅等；
 - 空间变化趋势分析：分析一定空间范围内待检验陆地定量遥感产品与影响因子的空间趋势变化规律，如相关系数的空间分布等。
- b) 检验样本选择方法：宜采用系统抽样方法或简单随机抽样方法（参见附录 B）选择样本进行验证对比。

5.4 基于地面观测与高分辨率遥感数据的多尺度逐级检验法

基于地面观测与高分辨率遥感数据的多尺度逐级检验法，又称为综合检验法。该方法将高分辨率

的卫星遥感数据作为陆地定量遥感产品估算模型的输入,将模型输出结果与地面观测数据进行一致性检验,然后通过尺度转换将模型输出结果转换为中低分辨率,再对中低分辨率遥感产品进行检验。检验流程应符合 GB/T 36296—2018 中 8.1 和 8.2.1 的规定。

基于地面观测与高分辨率遥感数据的多尺度逐级检验通用方法包括:

- a) 基于陆地定量遥感产品估算模型生成高分辨率遥感产品:将通过检验的且和地面观测尺度相同或相近、时间和空间一致的高分辨率遥感数据作为输入,采用已检的陆地定量遥感产品估算模型,生成对应的高分辨率遥感产品;
- b) 地面抽样方法:按照直接检验中的抽样方法获取地面观测数据;
- c) 一致性检验方法:结合地面观测数据检验基于高分辨率遥感数据生成的遥感产品估算结果,确定模型误差并进行反馈与修正,仅当生成的高分辨率遥感产品精度满足既定阈值要求时,可用于下一步验证;否则,重新准备高分辨率遥感数据并对生成的遥感产品进行检验;
- d) 尺度转换与相对真值获取方法:按照 4.4 规定的尺度转换方法,将通过验证的高分辨率遥感产品升尺度至与中低分辨率待检验遥感产品相同的空间尺度,得到待检验遥感产品的相对真值。

6 评价方法

6.1 遥感产品与相对真值/参考对象一致性评价

采用准确度评价指标和不确定度评价指标分析评价待检验陆地定量遥感产品与相对真值/参考对象之间的一致程度及其不确定性,具体评价指标见 GB/T 36296—2018 第 6 章。

6.2 遥感产品真实性检验过程不确定性评价

在分析陆地定量遥感产品真实性检验的不确定性来源时,应考虑各方面因素,全面评估各项误差在检验过程中对结果不确定性的影响,确定真实性检验过程中减少与控制不确定性的途径,使陆地定量遥感产品真实性检验结果更可靠。

不确定性来源分析与评价的主要内容包括:

- a) 几何定位的不确定性:由于几何定位仪器的测量误差及影像空间配准误差,在基于考虑空间位置的检验模型(如直接检验的克里格统计推断模型、MSN 统计推断模型等)中,定量分析模型输出结果对空间位置变化的敏感性,可用标准差、方差等指标进行度量。
- b) 地面观测的不确定性:主要包括由测量仪器的测量性能及测量方法引起的误差和定点观测空间代表性误差,宜通过多次观测,评估该误差的范围。
- c) 尺度转换的不确定性:使用统计推断模型进行尺度转换时,应考虑模型输出的估计值方差和估计结果的置信区间。

附录 A
(资料性附录)
地表空间异质性分析方法

A.1 空间自相关 Moran's I 指数

一种度量空间对象自相关性的统计指标,计算公式见式(A.1)。

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, i \neq j \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:
 I ——Moran's I 统计量,取值在-1 和 1 之间;
 n ——区域单元个数;
 w_{ij} ——空间权重矩阵 W 中第 i 行第 j 列的单元值;
 x_i ——区域单元 i 的定距或定比变量的值;
 \bar{x} —— x_i 的均值。

根据 I 值大小可以判断地表变量空间自相关程度。取值越接近-1,表示越强的负空间自相关;取值越接近于 1,表示越强的正空间自相关。

A.2 半变异函数

半变异函数将邻近事物比远处事物更相似这一假设加以量化,将统计相关性的强度作为距离函数进行测量。该方法将所有的点对按照间隔距离的大小、方向进行分组,在每一个组内,计算每个点对属性值的差异,最后取平均值作为该组属性值的差异(变异值),由式(A.2)计算。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:
 h ——空间间隔距离;
 $\gamma(h)$ ——距离相隔为 h 的半变异函数值;
 $N(h)$ ——距离相隔为 h 的点对数;
 x_i ——空间位置点;
 $Z(x_i)$ ——空间位置 x_i 处的属性值;
 $Z(x_i + h)$ ——空间位置 $x_i + h$ 处的属性值。

计算时,首先对样本点计算得到的散点进行拟合,获得经验变异函数;然后,观察变异函数的分布图(见图 A.1),寻找地统计学提供的某一种理论模型或多个理论模型的线性组合进行拟合。

半变异函数中的基台值、块金值可以度量空间异质性程度。基台值表示区域化变量最大变异,基台值越大表示总的空间异质性程度越高;块金值表示随机部分的空间异质性,较大的块金值表示随机部分的空间异质性。

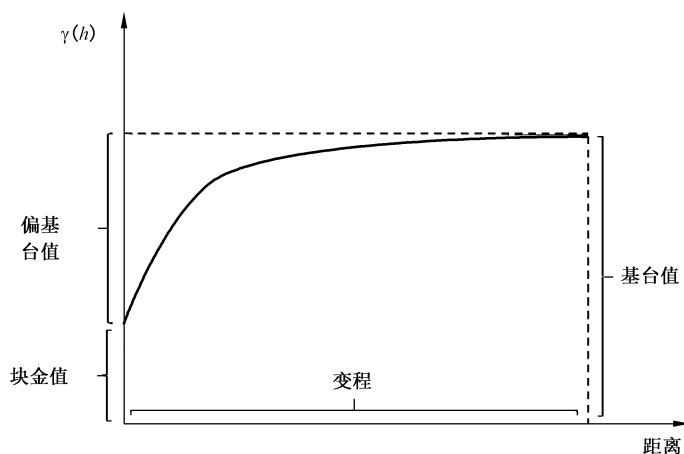


图 A.1 半变异函数示意图

A.3 变差系数

利用目标区域内目标变量的全距 ω 、平均值 μ 与标准偏差 σ 之间的比值 ω/μ 、 σ/μ ，可以反映空间对象取值变化的剧烈程度。其中，全距计算见式(A.3)，平均值计算见式(A.4)，标准偏差计算见式(A.5)。

$$\omega = X_H - X_L \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

ω ——全距；

X_H ——所有子像元值的最大值；

X_L ——所有子像元值的最小值；

μ ——平均值；

n ——子像元个数；

x_i ——各子像元值；

σ ——标准偏差。

A.4 地理探测器 q 指数

地理探测器 q 指数是一种空间分层异质性探测指标，采用 q 值比较空间分布一致性，判断两个空间分布要素之间的关联性和解释力。地理探测器 q 指数计算见式(A.6)。

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

q ——地理探测器 q 指数，取值范围 $[0, 1]$ 。当某属性不存在空间分异时， $q = 0$ ；当某属性存在完美空间分异时，即层内离散方差为零，层间离散方差不为零，则 $q = 1$ ；

N ——总体面积；

L ——分层数；

- h ——分层编号；
 N_h ——第 h 层面积；
 σ^2 ——总体方差；
 σ_h^2 ——第 h 层方差。

根据 q 值的大小可以判断地表变量的异质性程度。 q 值越接近于 1, 表示空间异质性越高; q 值越接近于 0, 表明异质性越低。

附 录 B

(资料性附录)

空间抽样模型

B.1 简单随机抽样模型

B.1.1 模型介绍

简单随机抽样如图 B.1 所示,该模型根据调查对象总体的变异情况和用户希望抽样调查的误差范围,计算样本量;然后,根据样本量,从总体中随机抽取样本。对样本值调查以后,按照均值和方差计算公式对抽样总体进行统计推断。

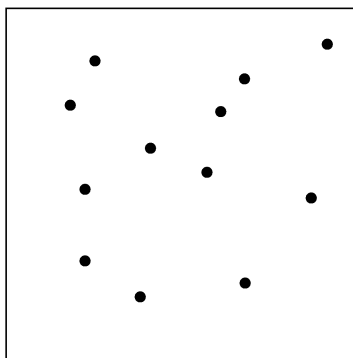


图 B.1 简单随机抽样示意图

B.1.2 样本量计算

B.1.2.1 在已知总体方差 S^2 、期望的样本均值估计方差上限 V 的情形下,样本量 n 可通过式(B.1)确定。

$$n = \frac{n_0}{1 + n_0/N}, \text{其中 } n_0 = S^2/V \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

n ——样本量;

N ——总体大小;

S ——总体标准差;

V ——期望的样本均值估计方差上限。

B.1.2.2 若样本均值的估计精度以绝对误差 d 的形式给出,则样本量 n 可通过式(B.2)确定。

$$n = \frac{n_0}{1 + n_0/N}, \text{其中 } n_0 = (u_\alpha S/d)^2 \quad \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

式中:

n ——样本量;

N ——总体大小;

S ——总体标准差;

u_{α} ——置信水平 $1-\alpha$ 下的标准正态分布双侧分位数；
 α ——显著性水平；
 d ——绝对误差。

B.1.2.3 在对总体没有先验了解时，可借助预抽样估计需要的样本量 n ，计算公式见式(B.3)。

$$n = \frac{s_1^2}{V} \times \left(1 + \frac{2}{n_1}\right) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：
 n ——样本量；
 s_1^2 ——预抽样样本的方差；
 V ——期望的样本均值估计方差上限；
 n_1 ——预抽样的样本量。

B.1.3 统计推断

B.1.3.1 估计总体均值计算见式(B.4)。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：
 \bar{x} ——均值；
 n ——样本量；
 x_i ——第 i 个样本的取值。

B.1.3.2 均值估计方差计算见式(B.5)。

$$v(\bar{x}) = \frac{1-f}{n} s^2 \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：
 $v(\bar{x})$ ——均值估计值的方差；
 f ——抽样比；
 n ——样本量；
 s^2 ——样本方差。

B.2 系统抽样模型

B.2.1 模型介绍

在系统抽样中，对于一个大样本 N ，首先确定抽样间隔，然后在第一个间隔内随机选择一个样本，后续的样本在第一个选择的样本基础上加上抽样间隔得到。例如，在总体为 N 的条件下每个样本按照 $1, 2, \dots, N$ 编号，系统抽样的间隔是 20，第一个随机样本是 16，那么第二个样本是 36，第三个样本是 56，直到每个系统间隔内都有一个样本，见图 B.2。在抽样总体没有系统性特征，或者系统性特征周期跟系统抽样的间隔不重合时，系统抽样具有更高抽样精度。当观测变量具有周期性变化时，周期性和系统抽样间距不能同步，否则容易出现估算失误。

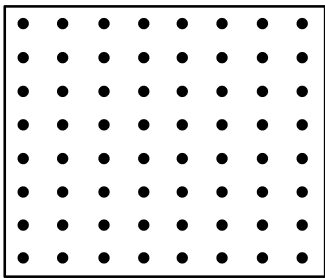


图 B.2 二维空间的系统抽样示意图

B.2.2 样本量计算

系统抽样样本量 n 的计算方法见 B.1.2。

B.2.3 统计推断

B.2.3.1 估计总体均值计算见式(B.4)。

B.2.3.2 均值估计方差计算见式(B.5)。

B.3 分层抽样模型

B.3.1 模型介绍

分层抽样是将总体按其属性特征分成若干层或类型，然后在类型或层中随机抽取样本单位，见图 B.3。该方法通过划类分层，增大了各层中对象间的共同性，适用于层内变差较小、层间变差较大时的样本抽样。

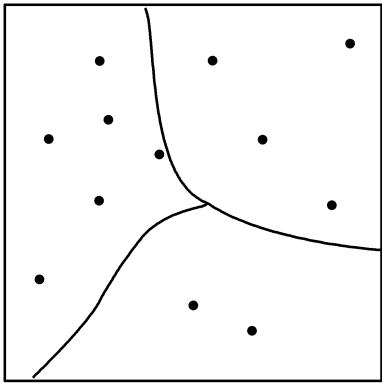


图 B.3 分层随机抽样示意图

B.3.2 样本量计算

B.3.2.1 涉及参数

分层抽样模型涉及参数见表 B.1。

表 B.1 分层抽样模型参数

参数	含义
c_0	抽样基本费用
c_h	第 h 层单个样本费用
n_h	第 h 层样本量
$C = c_0 + \sum c_h n_h$	总费用
N_h	第 h 层总体大小
$W_h = N_h / N$	第 h 层权重
\bar{Y}_h	第 h 层总体均值
\bar{y}_h	第 h 层样本均值
$f_h = n_h / N_h$	第 h 层抽样比
S_h^2	第 h 层总体方差
y_{hi}	第 h 层第 i 个样本

B.3.2.2 总的样本量计算

B.3.2.2.1 给定费用情况下,总的样本量 n 计算见式(B.6)。

$$n = \frac{(C - c_0) \sum (N_h S_h / \sqrt{c_h})}{\sum (N_h S_h \sqrt{c_h})} \dots\dots\dots (B.6)$$

B.3.2.2.2 给定估计方差 V 的情况下,总的样本量 n 计算见式(B.7)。

$$n = \frac{(\sum W_h S_h \sqrt{c_h}) \sum (W_h S_h / \sqrt{c_h})}{V + (1/N) \sum W_h S_h^2} \dots\dots\dots (B.7)$$

B.3.2.3 每一层的样本量计算

每层单个样本量 n_h 计算见式(B.8)。

$$n_h = \frac{W_h S_h / \sqrt{c_h}}{\sum W_h S_h / \sqrt{c_h}} \times n \dots\dots\dots (B.8)$$

如果每层单个样本的抽样费用 c_h 相当,则样本量 n_h 计算公式见式(B.9)。

$$n_h = n \frac{W_h S_h}{\sum W_h S_h} \dots\dots\dots (B.9)$$

B.3.3 统计推断

B.3.3.1 估计均值计算见式(B.10)。

$$\bar{y} = \sum_{h=1}^L W_h \bar{y}_h \dots\dots\dots (B.10)$$

B.3.3.2 均值估计方差计算见式(B.11)。

$$v(\bar{y}) = \sum_{h=1}^L \frac{W_h^2 S_h^2}{n_h} (1 - f_h) \dots\dots\dots (B.11)$$

B.4 克里格模型

B.4.1 模型介绍

克里格模型是一种建立在变异函数理论和结构分析基础上,在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏最优估计的方法。该方法考虑样点的大小、形状、相互关系和空间分布等几何特征,以及已知样点与待估计点之间的空间关系,对每个测点赋予一定的权重系数,然后用加权平均法估计未知点的值。克里格模型利用待估计区域与样本点之间的空间关系,可以估计区域的平均值及其估计方差。

B.4.2 样本量计算

基于克里格的抽样根据给定的期望精度(均值估计方差)结合优化算法进行动态搜索,当搜索结束时,输出样本的数量 n 和位置。

B.4.3 统计推断

B.4.3.1 估计均值计算见式(B.12)。

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i \quad \dots\dots\dots (B.12)$$

式中:

\bar{y} ——估计均值;

n ——样本量;

λ_i ——第 i 个样本点 y_i 的权重;

y_i ——第 i 个样本点估计值。

B.4.3.2 均值估计方差计算见式(B.13)。

$$\sigma^2 = \bar{C}(\mathfrak{R}, \mathfrak{R}) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{C}(y_i, \mathfrak{R}) + \mu \quad \dots\dots\dots (B.13)$$

式中:

σ^2 ——估计方差;

\mathfrak{R} ——待估计区域总体;

$\bar{C}(\cdot, \cdot)$ ——平均协方差;

n ——样本量;

λ_i ——第 i 个样本点 y_i 的权重;

y_i ——第 i 个样本点估计值;

μ ——求解极值时的拉格朗日乘子。

B.5 MSN 模型

B.5.1 模型介绍

MSN 模型将分层抽样模型与克里格方法相结合,适用于空间非均质表面的均值估计。

B.5.2 样本量计算



输入参数包括分层、各层内部空间相关性,层与层之间的空间相关性,可使用变异函数模型来表达。给定全区域空间估计均值允许误差,各层及总样本量由最小化均值估计方差给出。

B.5.3 统计推断

B.5.3.1 估计均值计算见式(B.14)。

$$\overline{y}_{\mathfrak{R}} = \sum_{h=1}^H a_h \sum_{i=1}^{n_h} w_{hi} y_{hi} \dots\dots\dots (B.14)$$

- 式中：
- $\overline{y}_{\mathfrak{R}}$ ——均值估计量；
 - h ——层编号；
 - H ——分层数；
 - a_h ——第 h 层权重；
 - n_h ——第 h 层样本量；
 - w_{hi} ——样本点 y_{hi} 的权重；
 - y_{hi} ——第 h 层中第 i 个样本点。

B.5.3.2 均值估计方差计算见式(B.15)。

$$\sigma_{\mathfrak{R}}^2 = |\mathfrak{R}|^{-2} \int_{\mathfrak{R}} \int_{\mathfrak{R}} C(y(s), y(s')) ds ds' - \left[|\mathfrak{R}|^{-1} \int_{\mathfrak{R}} \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^{n_h} a_h w_{hi} C(y_{hi}, y(s)) ds + \sum_{h=1}^H \mu_h \right] \dots\dots\dots (B.15)$$

- 式中：
- $\sigma_{\mathfrak{R}}^2$ ——估计方差；
 - \mathfrak{R} ——待估计区域总体；
 - $|\mathfrak{R}|$ ——待估计区域总体的大小，可用面积或离散点总数来度量；
 - $\overline{C}(\cdot, \cdot)$ ——协方差；
 - $y(s)、y(s')$ ——待估计区域中空间位置 $s、s'$ 处的离散点；
 - h ——层编号；
 - H ——分层数；
 - n_h ——第 h 层样本量；
 - a_h ——第 h 层权重；
 - w_{hi} ——样本点 y_{hi} 的权重；
 - μ_h ——第 h 层拉格朗日乘子。



参 考 文 献

- [1] GB/T 3358.2—2009 统计学词汇及符号 第2部分:应用统计
 - [2] GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语
 - [3] GB/Z 33451—2016 地理信息 空间抽样与统计推断
 - [4] Ge Y, Jin Y, Alfred Stein, et al. Principles and methods of scaling geospatial Earth science data[J]. Earth-Science Reviews, 2019, 197: 102897.
 - [5] 晋锐, 李新, 马明国等. 陆地定量遥感产品的真实性检验关键技术与试验验证[J]. 地球科学进展, 2017, 32(6): 630-642.
 - [6] 张仁华, 田静, 李召良等. 定量遥感产品真实性检验的基础与方法[J]. 中国科学: D 辑, 2010, 40(2): 211-222.
 - [7] Journel A. G. and Huijbregts C. J.. Mining geostatistics[M]. London: Academic Press, 1978.
-

