

一种估计区域生物灾害空间分布的方法*

张润杰¹, 黎良明², 康华春¹, 王寿松³

(1. 中山大学生物防治国家重点实验室, 广东 广州 510275;

2. 广东省肇庆市农业局, 广东 肇庆 526000; 3. 中山大学数学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 介绍一种研究区域生物灾害空间分布的方法: 基于区域化变量理论的克里格插值技术, 包括空间半变异方差的计算及其曲线的拟合, 克里格内插权重的推导, 以及待估点内插值的计算. 通过构造一个简单例子, 说明该方法在生成区域生物灾害空间分布情景中的独特作用.

关键词: 克里格插值; 生物灾害; 空间分布

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 05-0080-03

农业和林业系统的研究表明, 生物灾害如昆虫种群空间动态的很多变量都是在平面内或空间内变化的^[1], 且在一定尺度内, 种群存在空间相关性^[2]. 如何从平面内或空间内有限的样本数量, 依据空间相关性去估计邻近地点的灾害属性值如种群数量, 是生态学研究和管理实践中经常碰到的问题. 近年来, 一种称为克里格空间内插技术已成为表征和估计自然资源和自然灾害的工程学科^[3,4], 它在表征和估计大尺度害虫种群密度的变化趋势中已展现出独特的应用前景^[5,6].

1 原理和方法

克里格插值法是由矿物学家 Krige 博士在研究南非金矿分布中创立的, 它的基本思想是空间相关性概念的扩展, 认为未知点值与近邻样本比远距离样本有更加接近的值^[7,8]. 它是一种对空间分布数据求最优, 线性, 无偏内插估计量的方法. 如果已知某一地点附近的若干虫情样本, 那么根据样本点的空间相关性及各样本点的权重, 就能对未知点的虫情进行估计. 为此, 首先要确定样本之间的距离与虫灾变化之间的关系. 空间半变异函数 (semivariogram) 是描述种群在不同方向, 不同距离变异趋势的工具.

1.1 空间半变异函数

设昆虫种群在点 x_i 的密度为 $Z(x_i)$, 与 x_i 距离为 h 的所有点的密度为 $Z(x_i + h)$, 那么, 它们的

空间半变异函数为

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

把样本数据代入 (1) 式, 求出不同 h 值的相应的 $\gamma(h)$ 值.

以 h 为横坐标, $\gamma(h)$ 为纵坐标作散点图, 并用直线函数, 指数函数, 高斯函数, 或球形函数对它进行拟合, 就得到空间半变异函数的理论模型. 球形函数的理论模型为

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (0 \leq h \leq a) \quad (2)$$

C_0 为块金常数, C 为拱高, $C_0 + C$ 为基台值, a 为变程. 根据拟合模型, 可以求出任意两点 i, j 之间的空间半变异函数值 γ_{ij} .

1.2 克里格内插估计值及样本权重的计算

对未知点 x_0 灾害属性值的估计, 可利用已知样本点的信息, 运用 (3) 式进行内插得出

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

式中, x_0 为未知点, x_i 为已知点, λ_i 为权重系数, 其取值由 (4) 式解出

$$\beta = [A^T A]^{-1} A^T R \quad (4)$$

其中, $\beta = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, $R = (\gamma_{10}, \gamma_{20}, \gamma_{30}, \dots, \gamma_{n0}, 1)^T$.

矩阵 R 是根据拟合模型 (2), 求出各样本点与未知点的空间半变异函数值而构成. 矩阵 A 也

* 基金项目: 国家九五攻关资助项目 (96-005-01-01-06); 国家 973 资助项目 (G2000016210); 国家自然科学基金资助项目 (39970475); 教育部重点资助项目 (059-412053); 广东省自然科学基金资助项目 (001225)

收稿日期: 2000-12-18; 作者简介: 张润杰 (1949-), 男, 教授, 博士生导师.

是根据拟合模型(2),求出任意两点 i, j 之间的空间半变异函数值 γ_{ij} 而构成.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \cdots & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & 0 & \gamma_{23} & \cdots & \gamma_{2n} & 1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ & \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \gamma_{n3} & \cdots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

1.3 种群空间趋势图的绘制

根据插值结果,得到空间连续数据,通过 GIS 绘制空间等值线图,生成虫灾害空间分布趋势的情景.

2 应用举例

为便于说明运算过程,本文构造一个正规化的例子,用直线函数形式拟合半变异函数. 设某地 11 个病虫测报站调查某种害虫的密度如表 1,其中点 0 是未知点,要根据周围 11 个样本的信息对它进行估计. 12 个点的空间位置如图 1.

表 1 样本点的空间位置及其样本值

Tab.1 Coordinates of sampling points and sample values

地点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	0
横坐标	1	2	3	4	1	3	4	1	2	3	4	2
纵坐标	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	2
密度	56	63	75	85	59	90	86	45	55	77	61	未知

2.1 计算不同距离的半变异函数值

从图 1 可以看出,在 11 个样本点当中,距离为 1 的点共有 13 对,距离为 $\sqrt{2}$ 的共有 8 对,距离为 2 的共有 9 对,距离 $\sqrt{5}$ 的共 12 对,距离为 $2\sqrt{2}$ 的共有 4 对,距离为 $\sqrt{3}$ 的共有 3 对,距离

表 2 矩阵 A 的元素值

Tab.2 Values of the elements in matrix A

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	112.5758	217.7148	322.8538	112.5758	242.5348	339.9155	217.7148	242.5348	304.8148	386.5208	1
2	112.5758	0	112.5758	217.7148	156.1258	156.1258	242.5348	242.5348	217.7148	242.5348	304.8148	1
3	217.7148	112.5758	0	112.5758	242.5348	112.5758	156.1258	304.8184	242.5348	217.7148	242.5348	1
4	322.8538	217.7148	112.5758	0	339.9155	156.1258	112.5758	386.5208	304.8148	242.5348	217.7148	1
5	112.5758	156.1258	242.5348	339.9155	0	217.7148	322.8538	112.5758	156.1258	242.5348	339.9155	1
6	242.5348	156.1258	112.5758	156.1258	217.7148	0	112.5758	242.5348	156.1258	112.5758	156.1258	1
7	339.9155	242.5348	156.1258	112.5758	322.8538	112.5758	0	339.9155	242.5348	156.1258	112.5758	1
8	217.7148	242.5348	304.8148	386.5208	112.5758	242.5348	339.9155	0	242.5348	156.1258	112.5758	1
9	242.5348	217.7148	242.5348	304.8148	156.1258	156.1258	242.5348	112.5758	0	112.5758	217.7148	1
10	304.8148	242.5348	217.7148	242.5348	242.5348	112.5758	156.1258	217.7148	112.5758	0	112.5758	1
11	386.5208	304.8148	242.5348	217.7148	339.9155	156.1258	112.5758	322.8538	217.7148	112.5758	0	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

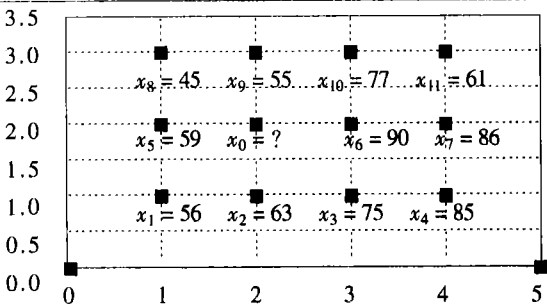


图 1 样本点的坐标位置
Fig.1 Coordinates of sampling points

为 $\sqrt{13}$ 的共有 2 对. 根据公式 (1), 它们的半变异函数值计算如下:

$$\gamma(1) = \frac{1}{2 \times 13} \cdot$$

$$[(27 - 38)^2 + (38 - 24)^2 + \cdots + (53 - 45)^2] = 91.307\ 69$$

$$\text{同理, } \gamma(\sqrt{2}) = 190.975, \gamma(2) = 201.722\ 2, \gamma(\sqrt{5}) = 268, \gamma(2) = 280.625, \gamma(\sqrt{3}) = 304.333, \gamma(\sqrt{13}) = 406.25$$

2.2 变异方差曲线的拟合函数

根据以上 $\gamma(h)$ 随 h 变化所显示的线性趋势,本例采用直线函数拟合,其形式为 $y = a + bx$. 以 h 为自变量, $\gamma(h)$ 为因变量,对变异方差函数拟合所得的表达式为

$$\gamma(h) = 7.436\ 806 + 105.139h$$

$(r = 0.966\ 925)$

(8)

2.3 计算矩阵 A 和 R 中的各元素值

根据 (8) 式,表 1 中任意两点间的变异方差值的计算结果如表 2,它们构成矩阵 A 的相应元素.

各样本点与待估点的变异方差值构成矩阵 R 的元素, 分别取值如下:

$$\begin{aligned} r_1 &= 156.1258, r_2 = 112.5758, r_3 = 156.1258, \\ r_4 &= 242.5348, r_5 = 112.5758, r_6 = 112.5758, \\ r_7 &= 217.7148, r_8 = 156.1258, r_9 = 112.5758, \\ r_{10} &= 156.1258, r_{11} = 242.5348. \end{aligned}$$

2.4 未知点灾害属性值的估计

首先依据(4)式计算各样本点的权重(样本对待估点的贡献率), 其结果为:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0.0098, \lambda_2 = 0.2363, \lambda_3 = 0.0428, \\ \lambda_4 &= -0.0297, \lambda_5 = 0.2358, \lambda_6 = 0.2620, \\ \lambda_7 &= -0.0160, \lambda_8 = 0.0098, \lambda_9 = 0.2363, \\ \lambda_{10} &= 0.0428, \lambda_{11} = -0.0297. \end{aligned}$$

利用已知样本点的信息, 根据(3)式可对未知点的灾害属性值进行估计. 计算结果为 $x_0 = 67$.

3 讨论

从研究结果看出, 样本对待估点的主要影响因素是距离, 距离越远, 影响越小. 例如距离为1的点 x_6 , 它对 x_0 的贡献率为0.262, 而距离为 $\sqrt{3}$ 的点 x_4 和 x_{11} , 它们的贡献率则为-0.0297. 此外, 方向性也是重要的因素. 根据区域化变量的理论, 区域化变量的各向异性可用不同方向的变异方差来刻画^[9]. 需要指出的是, 本文所举例子各样本点之间的距离是规则的, 但实际上生物灾害发生点之间的距离大多是不规则的, 因此实际应用时要采取适当的方法进行处理, 如采取距离分段计算的方法^[2]. 另一方面, 为了保证估计的精确性, 足够的样本数量是需要的. 实践经验表明, 样本数以不少于60个为好.

通过本文的介绍不难看出, 区域化变量的变异函数和克里格插值的计算虽然比较复杂, 但通过计算机处理可以逐个求出未知点的灾害属性值, 当内插点数量足够多以后, 结合地理信息系统技术, 就可以生成区域生物灾害的空间分布情景, 为防灾减灾提供依据.

致谢: 张文军博士为本文编写计算程序, 在此特表谢意.

参考文献:

- [1] 马世骏. 昆虫种群的空间、数量、时间结构及其动态[J]. 昆虫学报, 1964, 13(1): 38-55.
- [2] 张润杰, 周强, 古德祥. 褐飞虱田间种群空间结构分析和空间分布模拟[J]. 西南农业大学学报, 1998, 20(5): 449-456.
- [3] 方伟华. 区域化变量理论在历史洪涝灾害空间格局重建中的应用[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 48-55.
- [4] 王广德, 过常龄. "Kriging"空间内插技术在地理学中的应用[J]. 地理学报, 1987, 42(4): 366-375.
- [5] KEMP W P, KALARIS T M, QUIMBY W F. Rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) special variability: macroscale population assessment[J]. J Econ Entomol, 1989, 82(5): 1270-1276.
- [6] LIEBHOLD A M, ZHANG X, HOHN M E, et al. Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations[J]. Environ Entomol, 1991, 20(5): 1407-1417.
- [7] KRIGE D G, MAGRI E J. Studies of the effects of outliers and data transformation on variogram estimates for a base metal and a gold ore body[J]. Mathematical Geology, 1982, 14: 557-564.
- [8] MATHERON B. Principles of geostatistics[J]. Economic Geology, 1963, 58: 1246-1266.
- [9] ROSSI R E, MULLA D J, JOURNEL A G, et al. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological special dependence[J]. Ecological Monographs, 1992, 62(2): 277-314.

A Method to Estimate Spatial Distribution of Regional Disaster of Pests

ZHANG Run-jie¹, LI Liang-ming², KANG Hua-chun¹, WANG Shou-song³

(1, State Key Lab for Biocontrol, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China

2. Agriculture Bureau of Zhaoqing City, Guangdong Province, China

3. Mathematical Department, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A method named Kriging interpolation, based on regionalized variable theory, was presented for the study of regional disaster of pests, including the calculation of semivariogram and its simulation, the solution of weights of samples used in interpolation, and the estimation of values of unknown points. The major advantage of presented method seems to be obvious in generating the spatial scenario of regional disaster of pests through the given example.

Keywords: kriging interpolation; pest disaster; spatial distribution