GIS 实例学习练习资料

RiskCity

城市环境中,GIS 在滑坡记录、危害性、易损 性和风险评估中的应用



2008 年 11 月 Cees Van Westen

UNU – ITC School for Disaster Geo-Information Management <u>http://www.itc.nl/unu/dgim</u>



目录:

前	言	3
练习 1 :	ILWIS 软件介绍及其数据集	5
练习 2 :	采用不同时间的数字化立体图像进行滑坡制图	15
练习 3 :	应用统计学方法分析评估滑坡敏感性	21
练习 4:	应用确定性方法评估滑坡危害	31
练习 5:	滑坡损失评估	39

Case study: GIS for landslide hazard and risk assessment

前 言

本练习资料是应用 **GIS** 进行以城市为对象,多种灾害进行风险评估的指导练习手册中的一部。全套练习手册包括了对滑坡、洪水、地震和人为灾害(如爆炸和有害化学物质泄漏(译者注))等多种灾害的风险评估。本练习资料主要针对其中的滑坡灾害部分。

Disclaimer: RiskCity 是一个被修改 过的实例,仅供练习使 用。 本练习资料采用位于洪都拉斯的 Tegucigalpa 为目标城市,练习中多数数据都来源于该城 市,但为了达到练习的目的,部分数据被进行了修改,并加入了一些虚拟数据。因此,该实例 是一个假想实例。受时间和数据的限制,练习资料中对受灾害威胁对象的易损性和风险评估方 法已经被大大简化,故练习结果不能被视为 Tegucigalpa 的真实情况。

> 该练习的主要目的是让读者理解易损性和灾害风险评估的基本概念,并且了解对如何将 GIS 应用到各种不同类型灾害的易损性和损失评估有初步了解。 应用 GIS 进行风险评估的基本公式,如下:

Risk(风险) = Hazard(灾害) * Vulnerability(易损性) * Amount of elements at risk(受威胁对象的数量)

通过练习应完成以下任务:

- 立体图像解译,应用高分辨率的图片和 DEM (Digital Elevation Model,数字高程 模型)制作补色立体图像。通过立体解译,可以得到不同时间的滑坡图以及查明受威 胁的对象。
- 应用简单的统计学方法和基本的确定性方法,制作一个基本的滑坡敏感性图;
- 制作一个基于定性分析的滑坡风险图;
- 利用灾害(发生的可能性和)受威胁对象的相关等信息,分析评估滑坡潜在损失。

本练习是针对 ILWIS (Integrated Land and Water Information System)软件编写的。ILWIS 是一个由 ITC (International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation)开发的,具有图像处理功能的 GIS 软件。ILWIS 是一个(公开资源)共享软件,您可以通过网站: 52north.org/ilwis,下载 ILWIS 软件。

致 谢

感谢 Honduras 市 COPECO 的 Funes Siercke 提供的宝贵数据。感谢美国地质调查局 (United States Geological Survey)的一项研究提供的 DSM(Digital Surface Model) 和洪水信息。感谢 JICA,从其资助的一个项目中,我们获取了高分辨率的图片。感谢 Ruben Vargas Franco, Dinand Alkema, Lorena Montoya, Michiel Damen, Antonio Naverette 和 Norman Kerle 对该实例研究所做出的多方面贡献。

A STATE AND A STATE AND A

练习 1: ILWIS 软件介绍和数据集

预期用时:	2.5 小时	
数 据: 练习任务:	数据来自 subdirectory:/exercise01 本练习将综述 ILWIS 软件的主要功能,并且介 习还预期找出可供该实例使用的输入数据,以2	·绍了该软件的主要结构和一些常用图标。同时,此练 及介绍 RiskCity 的一些内容和与之相关的风险。
	每个练习都会用到它自己的数据集。所以请确定您将每 下。请不要用上一个练习中的数据,因为我们可能对非 习。	手个练习的数据,拷贝到了您的硬盘中,不同的子目录 其中的一部分进行了修改,以使其更适合完成下一个练
TLWIS	我们没有对 ILWIS 的基础功能进行系统的; (learn by doing)。ILWIS 可以处理矢量 们将介绍 ILWIS 的主要特征。 的主要特征	↑绍,因为我们认为最好的学习方式是通过自己实践 图和栅格图,但大部分的分析是针对栅格图的。下面我
	集成栅格和矢量设计; 输入和输出被广泛应用的数据格式; 屏幕和表格数字化; 全面的图像处理工具; 正射影像。图像的地理参昭空间的完义。转换和镶嵌,	ILWIS 3.4 Open
	高级模拟和空间数据分析;	520 orth splaring horizons

练习编排的方法: 浅绿色方框中的内容, 可以指导您完成 GIS 的相关操作; 方框外的内容是对练习的一些描述和解释。

Ŧ

打开 ILWIS,并且进入第一个练习的子目录。

打开 ILWIS 的主窗口,如下图所示。该窗口包含了多个要素:

- Data catalog:显示所选目录中的对象图标和对象名称。
- Navigation pane: 可以快速导航,并且也能显示所有的操作。
- Menu bar: 在 ILWIS 中,大多数操作都可以通过 Menu bar 开始。 仔细察看 Operation 下 的选项。
- Command line: 这是 ILWIS 中的核心部分。可以通过在命令行中输入计算语句(被称作图 形计算语句 MapCalc),来完成对栅格地图的很多分析步骤。如果您想完成一项操作,也可以 在命令行中输入相应的命令。
- . **Object selection:** 通过 Object selection,您可以选择哪种对象可以被显示在 Data catalog 中。

Case study: GIS for landslide hazard and risk assessment

Object selection

Defines which objects are visible in data catalog



Navigation pane

You can also change it to operationtree or operation list

Data catalog

with icons indicating different types of data. Note: right-clicking on an icon gives the operations that are possible

在 Data catalog 中的图标,代表 ILWIS 中出现的各种不同的对象。下图对这些对象进行了总结。



ILWIS 中的对象

ILWIS 中的对象可以被分为以下几种:

空间参照对象:

定义了数据集中的栅格地图的坐标系统、投影参数和单元格尺寸。通常情况下,所有的空间数据应具 有相同的坐标体系,所有的栅格地图也应具有同样的地理参照空间。

空间数据:

空间数据可以是矢量数据(点状图、线段地图和多边形地图(由线和点组成)),或者是栅格地图 (可以是图像,也可以是通过对矢量地图栅格化,所得的主题数据或是内插数值,如 DEM)。

域

这是 ILWIS 中的中心组成部分。一个域定义了一个数据的内容。有三种类型的域: Identifier domain (在 ID 域中,每个对象都有一个独立的标识码); Class domain (类别域,所有属于同一类别的单元,具有相同的名字,如岩性单元); Value domain 数值域(每个单元都包含有一个数值,例如数字高程模型 DEM)。

ILWIS 中域的定义有别于其它 GIS 软件,这可能会对初学者造成一点疑惑,但在您掌握它后,您会发现它是 ILWIS 中一个非常强大的组成部分。

域是和 Representation(数据表达方法)是链接在一起的。Representation(数据表达方法)定义了空间数据的显示形式。您可以自定义 Value domain(数值域)和 Class domain(类别域)的数据表达方法,或是应用标准的数据表达方法。

表格和频率分布图:

属性数据(Attribute data)是以表格的形式被存储的,并通过域将其与空间数据链接在一起。只有 ID 域和类别域具有自己相应的表格。对空间数据的统计信息被储存在 Histogram (频率分布图) 中。该图包含了频率信息(面积、单元格数量、点和线的数量等)。表格中的列也具有相应的类别 域、ID 域或数值域(也存在例外)。

数据组织、GIS 分析、图像处理和数据可视化等操作也具有其各自的图标,但在此我们不进行一一介绍。

依托性

ILWIS 是一个针对对象的 GIS 和图像处理软件。这意味着上面所提及的各种对象是相互联系的。因此,您需要用多个对象(例如,坐标系统、地理参照空间、由数字化线组成的线段地图、包含单位信息的点图、由线和点组成的多边形地图、由多边形地图栅格化得出的栅格地图和表格),定义一个主题栅格地图。如果一个对象是由另一个对象创建的,ILWIS 将储存这个对象是如何被创建的,并且称其为依托性(Dependency)。

Dependency 依托性这一概念是 ILWIS 的核心特征之一。ILWIS 中可以存储每个文件是如何被创建的历史记录。如果某个源数据被更改,用户可以轻松的更新地图或是表格。

一些重要的提示:

对于具有依托性的数据,您应该注意以下几点:

- 请不要用 Windows 中的管理器去拷贝/删除或是重命名单独的文件。请应用 ILWIS 中 Edit 菜单下的选项,拷贝或删除文件。
- 您可以通过选择文件的属性,来察看不同对象之间的链接。您可以通过选择一个图标,单击 鼠标右键,在弹出菜单中选择 "properties" 的方法,来查看文件属性。
- ILWIS 具有一个非常详细的帮助系统。当您遇到一些关于软件功能等具体问题时,应用帮助 系统,解决遇到的问题。



_

找到合适的输入数据

在 **Data catalog** 中, 您可以看到在实例研究中,可以获取的输入数据的图标。下表中的输入数据是主题数据总揽以及对它们是怎样获得进行了说明。

名称	类型	含义			
Image data					
High_res_image	Raster image	This represents a high resolution colour image derived from an IKONOS image. It has been orthorectified, and the the panchromatic band is fused with the colour bands, and resampled to 1 meter.			
Elevation data					
LidarDEM	Raster map	This is a Digital Surface Model which has been derived from a laser scanning flight. The original data points have been interpolated into a 1 meter resolution raster map.			
Contours	Segment map	This file contains contour lines with 2.5 meter contour interval. These have been digitized from a series of 1:2000 scale topographical maps.			
ТороДЕМ	Raster map	Digital Terrain Model showing the elevation of the terrain made by interpolating contourlines into a raster			
Elements at risk					
Wards	Polygon map	A polygon map representing the administrative units within the city. In the accompanying table information is given on the number of buildings and number of people			
Mapping_units	Polygon map and table	This map represents the mapping units used for elements at risk mapping, but now as polygons. Each of the mapping units has a unique identifier, so that in the accompanying table information can be stored for each unit. The units may be individual large building or plots with a specific landuse, although they are mostly grouping a number of buildings. In the accompanying table information is given on the number of buildings and number of people			
Building_map	Raster map	Building footprint map of the city prior to the 1998 Mith event. The map still contains the buildings that were destroyed by landslides and flooding during the Mitch event			
Roads	Segment map	A segment map of the streets, roads and paths, made by digitizing from topographic maps.			
Hazard data					
Landslide_ID	Raster map	Landslides in the study area, with an attribute table containing information on the landslides.			
Flood_100_year	Polygon map	Flood extend map for a 100-year return period, obtained through modeling with HEC-RAs hydrological software			
Rivers	Segment map	A segment map of the drainage network in the city, digitized from topographic maps			

图像数据

我们首先从查看高分辨率的图像开始。

在这个图像被拍摄的几年前,这个城市曾受到一种地质灾害的严重影响。

Ē		
	 描述如何应用高分辩率的图像,绘制受威胁对象图。您能绘制单独建筑 它们数字化成建筑物图的 footprints(底轮廓)图吗?您可以和您的同 论。 	物,并把 学进行讨
	 您能从图中看出一些潜在的滑坡灾害迹象吗?如果您能看出来,请将您 迹象和它们在图中的位置(X坐标和Y坐标)记录在下表中。 	观察到的

盔安	•
百禾	

在图像区域中,您所能观察到的近期灾害的迹象?	X坐标	Y坐标

灾害数据

目标城市由于经常收到飓风和热带风暴的影响,降雨量丰富。大量的降雨,诱发了大规模的滑 坡和洪水,这些地质灾害的分布已经被制成地图,我们也获得了关于这两种地质灾害的地图 资料。

Transparency (透明 度):您可以将一个阁 重叠在另外一个阁上, 并且同时观察两个图。 但在有些电脑上,如果 您不把屏幕的显示调整 到 32-bits,您是无法 进行两个图像的同时观 察的。	 将多边形地图 Landslide_ID 重叠在栅格地图 high_res_image 上。(应用 Layers / Add Layer),在 display option 窗口中,选择:transparency 50%。 双击一个滑坡区域,相应的属性数据就会显示在一个窗口中。仔细查看近期的滑坡和复活滑坡的属性数据。 现在我们将显示滑坡的活跃性属性。双击图 Landslide_ID,Display Options 窗口将弹出,点击 Attribute 选项,并选择 Activity 作为属性,选择 Activity 作为 Representation (数据表达方法),然后单击 OK,您将看到相应的属性图。 采用类似的方法,将多边形地图 Flood_100_year 也重叠在图high_res_image 上(也将 transparency 设置为 50%)。将图上显示的灾害特征与您前面所观察到的破坏迹象进行对比。
Display attributes(显 示属性): 您可以显示 储存在属性表格中的相 应的属性。	该区域中的滑坡图是通过多时间图像解析绘制的。在练习 2 中,我们将详细分析滑坡图是如4 获取的,并分析如何创建生成该图所需要的图像。滑坡信息被储存在一个表格中。该表格与洋 坡地图具有相同的域。
	 通过双击 Data catalog 中的表格图标,打开滑坡表格 Landslide_ID。查看表格中的信息。双击表格中每一列的列头,以查看该列的特征。找出总的滑坡面积(提示:确定您已选择了 View 菜单中的 Statistics Pane 选项)。 关闭表格和地图窗口。

受威胁对象数据

P

受威胁对象(处于风险 中的元素):所有的可 能被某种灾害,影响/损 坏/毁坏/受伤或杀死的 对象。在本练习中,我 们仅考虑建筑物、人口 和道路。 为了进行 RiskCity 的风险评估,我们需要受威胁对象(处于风险中的元素)的信息。在 RiskCity 实例中,我们有三种不同类型的受威胁对象信息:

Wards(以"区"为单位): 对人口和建筑物的统计信息是以"区"为单位的。一个区可能 包含城市中的一大部分。对于风险评估而言,以区为单位进行信息统计,有些偏大。

Mapping_units(地图单元):这是我们进行风险评估的主要单位。它包含着或多或少的同类建筑群。我们需要搜集每个地图单元的建筑物数量、类型和人口数量信息。

Building_map: 这就是我们所谓的 **building footprint map**(建筑物底轮廓图), 包含了该区域内,每个建筑物的轮廓。这个图是在灾害发生前制作的,所以它也包含了所有被毁坏的建筑物。建筑物的边界被储存在线段图 Building_map_segments 中。

Roads:显示了 RiskCity 中的道路系统。

- 再次打开栅格地图 high_res_image。描述如何应用高分辩率的图像,绘制受 威胁对象图。您能绘制单独建筑物图或是数字化建筑物的 footprints(底轮廓) 图吗?您可以和您的同学进行讨论。
 - 将线段地图 Building_map_segments 重叠在高分辩率图上(应用 Layers / Add Layer)。
 - 将多边形地图 **Mapping_units** 也重叠在高分别率图上,选择 "Boundaries Only (仅显示边界线)",并将边界线设置为较粗的绿色线条。
 - 放大图像,并且查看图 Mapping_units 中的属性表格的内容。
 - 显示城市用地类型属性。双击栅格地图 Mapping_units 图标, Display Options 窗口将弹出,点击 Attribute 选项,并选择 Pred_Landuse 作为属性,选择 Landuse 作为数据表达方法。
 - 最后,也显示以区为单位的地图和道路地图,并且查看它们的内容。
 - 关闭地图窗口。

对于有经验的 ILWIS 用户:

对于有经验的 ILWIS 用户:计算被毁坏的建筑物数量

• 计算被灾害所毁坏的建筑物数量。

提示:图 Building_map 包含了所有的建筑物,包括被毁坏的建筑物。您可以在滑 坡图、洪水图或是栅格地图 Mapping_units 的属性图 Pred-Landuse 中发现被 破坏的区域。Pred-Landuse 中包含了一个类别"Vac_Damaged"。首先创建 Mapping_units 的属性图 Landuse,然后应用 Cross Operation,将图 Landuse 和图 Building_map 进行交叉。在所得的交叉表格中,您可以通过 Aggregation 功能,计算在"Vac_Damaged"单元中的房屋数量。

高程数据

Digital Elevation Model(数字高程模

型):数字高程地图的统称。

DTM = Digital Terrain Model(数字地形模型), 显示地形高程。 DSM = Digital Surface Model(数字地表模型), 显示了地表上的对象,如 建筑物和植被等的高程。 为了进行对 RiskCity 的风险评估,我们还需要关于地形高程、其它对象如建筑物和植被等的高程信息。为此,我们获取了以下数据集:

Contours(等高线):对大比例尺的地形图的等高线进行数字化,得出了间距为 2.5m 的等高线图。

TopoDEM (数字地形高程模型):通过内插等高线图,可以得出数字地形模型。该模型可以显示地形高程。

LidarDEM(激光数字高程模型):数字地表模型是从激光扫描航行中获取的。原始的数据 点被内插成为了分辩率为 1m 的栅格地图。

除了数字等高线外,我们还应用从激光扫描航行中获取的高分辩率的数字表面模型。我们称之为 LiDAR (激光探测和测距)。一架飞机或直升机可以向地表发射大量的激光脉冲。每个被地表物体反射回来的激光脉冲的移动时间和激光脉冲的放射角度,可以被记录下来。同时,可以采用高精度的 GPS,记录激光设备在空间中的具体位置(X,Y,Z)。根据不同的设备类型、飞行高度、速度和脉冲频率,每个单位面积(如每平米)上,一定数量的高程点将被接收。这些原始的高程数据点,可以被内插成规则的网格,并可从中获取数字地表模型(DSM)。 DSM 包含了所有地表物体(如房屋,树木和汽车等)的高度。下图对 LIDAR 原理进行了解释。





P

Image stretching :
一个设置数值地图被显示
的最佳颜色范围的统称。
当您要在 ILWIS 中延伸一
个图像时,您需要定义一
个最小值,该最小值将被
显示,设定颜色范围的一
个极值(如黑色);
最大值将被显示为另一个
极值(如白色)。

•	将栅格地图	LidarDEM	也重叠在线段	地图 Conto	ours 上。:	选择 Repres	sentation
	为"Gray"	来显示该图。	接受 Stretch	默认设置值	ī(909.1 利	1294.8)。	并且将城
	市的中心放	大,现在您将	很难看到每个延	建筑物。这主	主要是因为	图像的数据范	国为: 最
	小高程值为	900.8 m; 🗄	最大高程值为1	324.2 m。			

• 应用不同的 Stretch 值, (例如 900 和 950), 您将看到什么呢?

为了看到所有的建筑物,我们也可以通过应用 filter(过滤)功能,创建一个 hillshading 图。阴影滤波(shadow filter)对 DEM 进行应用人工照明(从西北部)。其结果是在 DEM 中较高的部分变得更加突出,因为较高的部分得到了阴影的衬托。

Filtering:过滤是一种	
图像处理技术,它也可	Ē
以被用作使地表 DEM	
地图连续化。过滤器应	•
用一个 odd sized 矩	
阵,在一个图形上移	
动,并且用一个特定的	•
方程计算每个单元格的	
值(例如一个3×3的	•
矩阵可以一次计算9个	
单元格的值,直到这个	
图形被计算完为止)。	
计算结果,将被赋值给	
输出地图的中心单元	
格。因此,每个单元格	从原理上
的输出数值,不仅取决	代表所有法
于单元格自身的值,而	字地形模
且取决于相邻单元格的	得的)之
值。	因此,我

•	采用 LidarDEM 创建一个 hillshading 图。应用	Operations / Image
	<i>processing / Filter</i> 。选择线性过滤器 Shadow。	并将输出图命名为:
	Shadow,将精度设为1。	

- 显示图 **Shadow**,将 Representation 设置为 gray,并将 stretch 设置在-25 到 25。现在当您放大图形时,您可以看到每个独立的建筑物。
- 打开高分辩率图像: **High_res_image**,并且将该图与 hillshadingand 图 **Shadow** 进行比较。 放大两幅中的体育场,我们将看到一些细节,并发现一些相同的特征。

从原理上看,激光数字地表模型(Lidar DSM, 代表所有对象,包括建筑物和植被的高程)和数 字地形模型(DTM,是通过对等高线进行内插所 得的)之间的差值,代表了区域内对象的高度。 因此,我们可以采用两副图相减的方法,分析建 筑物的高度。我们将采用在命令行中,输入图像 计算公式(MapCalc formula)的方法,来完成 该计算。



Map Calculation(图像
计算):图形计算被认为
是 ILWIS 的核心部分。
通过在命令行中,输入
计算公式, 就可以完成
对图形的操作。例如:
output_map:=Mapa-
Mapb。ILWIS 具有多种小
同类型的公式,其中一个
较常用的公式为: IFF,
THEN, ELSE 公式,例
<u>9</u> 11:
Output_map:=iff(A,B,C).
该含义为: 如果 A 为真,

P

该含义为:如果 A 为真, 则输出值为 B,否则输出 值为 C。

• 在 ILWIS 主窗口的命令行中,输入下面的命令:

Altitude_dif:=LidarDEM-TopoDEM

显示结果,将 Representation 设置为 pseudo,并将 stretch 设置为 0 到 10。当您放大图形时,您可以看到每个独立的建筑物并且读出每个建筑物的高程。

Pixel Information :	您也可以探索数据集中的其它数据。 通过单元格信息选项(Pixel Information),您可以查看图形中同一位置的大量信息。						
单元格信息窗口是一个非 常方便的工具。通过该工 具,您可以同时查看许多 不同类型的数据,包括空 间数据和相应的属性数 据。通过 ILWIS 主窗口中 的图标,您可以打开单元 格信息窗口。确定选择 Options./Always on top,. 并将您想要查询的图形, 拖入单元格信息窗口。	 打开图 high_res_image。 点击主屏幕上的 单元格信息按钮。 添 加 图: Mapping_units、Wards 和 Landslide_ID 等,并选择 Options/Always on top。现在浏览图形,并尽量分析哪个区,具有最高的滑坡风 险。 						

对于有经验的 ILWIS 用户:

对于有经验的 ILWIS 用户:

计算每个建筑物的楼层数目:

- 提示:通过对图 LidarDEM 和 TopoDEM 的计算,可以得出每个建筑物的高程。图 Building_map 包含了所有的建筑物。首先将图 Altitude_diff 划分为不同的层,假设每层的高度为 3m。您可以通过图形计算,如用图 Altitude_diff 除以 3,来计算楼层数目,并将计算结果保存在图 floor_nr 中,将其精度设为 1。
- 应用 Cross Operation,将栅格地图 Building_map 和 Floor_nr 进行交 叉。在所得的交叉表格中,您可以计算得出每个建筑物的楼层数目。计算所得的 楼层数目可以作为一个属性,存储在表 Building_map 中。
- 现在您也可以在属性表格 **Building_map** 中,计算总的楼层空间(= area of the building * the number of floors,即等于建筑物面积×楼层数目)。

对于有经验的 ILWIS 用户:

计算每个图形单元的建筑物数量:

- 提示:图 Building_map 包含了所有的建筑物。通过应用 Cross Operation,将栅格地图 Mapping_units 和 Building_map 进行交叉。在 所得的交叉表格中,您可以采用 Aggregation 的 count 功能,在所得的交叉表 格中,计算每个地图单元的建筑物数量,并且将计算结果存储在表格 Mapping_units 中。
- 采用类似的方法,计算楼层数目和楼层空间信息。可以通过这些信息,结合城市 用地信息,对人口数量进行初步估计。

练习 2: 采用多个不同时间的数字化立体图像 进行滑坡制图

预期用时: 2.5 小时

G

据: 数据来自 subdirectory:/exercise02

本练习将教您如何应用数字化航空影像和数字化高程模型(DEM),创建立体图像。可以通过补色立体图的方法,显示立体图像。可以通过解析立体图像,分析 RiskCity 中,不同时期(1977, 1998, 2001 and 2006)的滑坡活动状态。



数

练习任务:



- 选择 Operations/Image Processing/Epipolar stereo pair 选项。要实现该操作,我们需要两幅有重 叠区域的栅格地图,作为输入地图,例如两张经扫描的,有重叠区域的航空影像。在输出的立体像对中, 您能观察到两个立体图像的重叠区域;
- 选择 Operations/Image Processing/Stereo pair from DTM 选项。该操作以仅以一幅栅格地图作为 输入地图,例如扫描的照片或图像和数字地形模型(DTM)。在输出的立体像对中,您能观察到整个的输入地图区域,并且输出立体图像是显示在 DTM 之上的。

当立体像对被打开、显示的时候,它将会被自动计算。一个立体像对含有:

• 两个重采样的输出栅格地图;

在立体像对中,每个栅格地图都具有一个新的、保留原有坐标的地理参照空间。
 立体像对能够显示在:

- 立体镜窗口,当用立体镜时:
 - 图像窗口,当用红绿或红蓝眼镜时,以一个补色立体图像的方式。

在本练习中,我们将仅应用选项"Stereopair from DTM"创建一个立体图像,因为我们有一个非常好的 DEM (LidarDEM),其中包含了所有的建筑物,预期得到最佳的结果。请输入数据:

名称	类型	含义
图像数据(Image data)		
Airphoto_1977_original	Raster	Scanned airphoto from 1977 imported into ILWIS
Airphoto_1977_ortho	Raster	Orthorectified airphoto, after generation of a gereference direct linear and resampling to the common georeference of the area.
Airphoto_1977	Stereopair	Stereopair generated from the Airphoto_1977 and the Lidar DEM. It can be visualized using a screen stereoscope or using anaglyphs
Airphoto_1998_ortho	Raster	Orthorectified airphoto from 1998 taken just after the landslide and flood disaster, made after generation of a gereference direct linear and resampling to the common georeference of the area.
Airphoto_1998	Stereopair	Stereopair generated from the Airphoto_1998 and the Lidar DEM. It can be visualized using a screen stereoscope or using anaglyphs
Image_2001_ortho	Raster image	This represents a high resolution colour image derived from an IKONOS image. It has been orthorectified, and resampled to 1 meter. The original colour image was converted to black and white, in order to be able to display it using anaglyphs
Image_2006_Original	Raster image	High resolution image downloaded from Google Earth, which can be georeferenced and resampled in order to use it for the stereo image interpretations.

属性数据(Altitude data)						
LidarDEM	Raster map	This is a Digital Surface Model which has been derived from a laser scanning flight. The original data points have been interpolated into a 1 meter resolution raster map.				
滑坡数据(Landslide data	滑坡数据(Landslide data)					
Landslide_boundaries	Segment map	Landslides in the study area, interpreted from the available images				
Landslide_ID	Point map	Points within each of the interpreted landslides with associated attribute table				
Landslide_ID	Table	Attribute table with information on the landslides in the area.				
其它数据(Other data)						
Building_map_segments	Segment map	Boundary lines of the buildings in the area. Can be used to assess the quality of the orthoimages.				

从 Google Earth 下载高分辨率的图像



Note:如果您对如何使用 Google Earth 下载图片不感兴趣,或是您无法上网,您可以跳过本部分的练习,直接进行创建立体图像的练习。

应以对不同时间图像的解译和大量的野外工作为基础,来创建滑坡调查记录图。尽可能多的得到不同时间的图像对建图是非常重要的。老图像是非常有用的,因为它们显示了在研究区域中,再也无法被验证的情况。由于以前城市的扩张没有现在这么迅速。因此,对老图像的解译,可以帮助我们更好的识别城市中的滑坡。当然,作为野外数据搜集的基础,近期的图像也是非常重要的。Google Earth 就是一个重要的信息来源。它为我们提供了世界上很多地方的高分辩率的图像,包括我们的研究区域 RiskCity (Tegucigalpa)。

F	
• 打开 Google Earth	
 如果您还没有安装它,您可以先尝试试用版本:Gou 通过该试用版本,您也可以下载高分辨率的图片。打 http://earth.google.com/intl/en/product_com 	olge Earth Pro。 「开网页: <u>nparison.html</u>
• 在导航栏中搜索 Tegucigalpa/ Honduras。	
 放大图像,直到屏幕上出现的区域与练习中的区域完 择 Terrain 选项和其它特征选项。 	至 相同。请不要选
 选择 File / Save/ Save Image (如果您用的是 Go 请选择 the largest file size)。将文件保存为 Goo 	ogle Earth Pro, Ige_earth.jpg。
 退出 Goolge.Earth,打开 ILWIS。将文件 Googl 为 ILWIS 接受的文件格式(如 bmp 或 tif 格式), 	e_Earth.jpg 另存 然后将其输入到
ILWIS 中。	
 然后,您可以应用 ILWIS 中的 georeference 选项 	,创建一个
Tiepoints 类型的 georeference (地理参昭空间)	

•

.

定义一个图片的地理参照空间,并创建一个正射图像

Note: 如果您对如何创建一个正射图像不感兴趣,您可以跳过本部分的练习,直接进行创建 立体图像的练习。

Georeference Direct Linear : 在下面的一些情况下,建议您创 建 Direct Linear 地理参照空间: 当您要处理的图像较小,例如用 普通相机拍摄的图像或是没有基 准标的图像时; 当图像中的地形 高差较明显时,例如您需要进行 倾斜纠正和地形起伏纠正时; 您 已获取了研究区域的数字地形模 型(DTM)。通过建立一个 direct linear 地理参照空间,并 显示图像,您可以直接对显示在 屏幕上的未被纠正的图像,进行 数字化。Direct linear 地理参照 空间是通过 DLT (Direct Linear Transformation),计算得出: Row = (aX + bY + cZ + d) / (eX+ fY + aZ + 1)Col = (hX + iY + jZ + k) / (eX + k)fY + qZ + 1一个 direct linear 地理参照空 间,至少需要6个连接点(也叫 控制点)。每个连接点,在图像 中所处的行和列的序号, 及它在 实地中的坐标,将被储存。用户 可以输入高程值,也可以通过连 接点的坐标,从 DTM 中获取该 点的高程值。获取航空影像的飞

机的飞行高度、相机投影中心 (X0, Y0, Z0)、相机与 X, Y, Z 轴之间的角度 (a, b, g),都是通 过连接点计算出来的。 地理参照空间,定义了栅格地图中行和列的位置,与实际情况中(X,Y)坐标之间的 关系。因此,通过地理参照空间,可以定义栅格地图中单元格的位置。建议在栅格地 图上,同一区域,采用相同的地理参照空间。一个地理参照空间将采用一种坐标系 统,其可能包含一些投影信息。多边形地图、线段地图和点图仅应用一个坐标系统。 一个地理参照空间是一个服务类的对象,通常情况下,其可以服务于多个栅格地图。 有五种类型的地理参照空间:

- **georeference corners**: 一个指向北的地理参照空间,用于矢量数据的栅 格化过程,或用于地图的重采样(resample);
- georeference tiepoints: 一个不指向北的地理参照空间,用于给卫星图像、扫描的照片或是扫描的地图等,赋坐标值。该类型的地理参照空间,不需要应用 DTM;
- **georeference direct linear**:结合 DTM,给扫描后的航空影像赋坐标 值;
- georeference orthophoto:结合 DTM 和航空影像校正参数,给扫描后的 航空影像赋坐标值;
- georeference 3D:建立一个地图的三维视图。

通常情况下,最好用正射图像创建立体图像。正射影像是扫描的摄影测量航空影像。 它是经过倾斜纠正和地形起伏位移纠正的图像(指向北的、单元格为正方形的栅格图 像)。为了创建一个正射图像,需要一些关于航空影像正射校正的信息。不幸的是, 在本实例中,我们没有得到这些信息。因此,我们选择的地理参照空间为: Direct Linear。

P

- 打开图 Airphoto_1977_original。
- 选择 File/Create/Georeference。选择 Georeference Direct Linear。选择 Background map: LidarDEM。Georeference name: Airphoto_1977。
- 现在 georeference 窗口已经被打开。打开地图 Image_2001_ortho,并且按照下图所示的方式,放置两个窗口。
- 放大图像,在两个图中找一个相似的点。在右边的图中选择一个点,在 弹出的 Add Tie Point 窗口中,选择 Z 选项,然后在左图中选择同样的 点,点击 OK。
- 重复上述操作,至少设置 10 个连接点(tiepoints)。查看 sigma 值 是否是可以接受的(最好能使 sigma 值小于 1)。



Resample(重采样):
Resample 操作可以对
栅格地图进行重采样,
使其从当前的地理参照
空间,转换到另外一个
目标空间。通过输入地
图中邻近单元格的值,
可以计算每个输出单元
格的新的坐标值。重采
样的方法有三种: 最邻
近法(nearest
neighbour);双线性
内插法 (bilinear
interpolation); 三次
卷积法 (bicubic
interpolation)
and the second of the

在创建了一个精度较高的 georeference direct linear 后,您就可以将 **1977** 年的 航空影像,重采样为一个通用的地理参照空间(被用于所有的数据)。这个参照空间 被称作**"Somewhere"**。

P

- 选择 Operations/Image Processing/Resample。选择 Raster Map: Airphoto_1977_original。选择 Output raster map: Airphoto_1977_rectified。并设置 Georeference name: Somewhere。方法: nearest neighbour。
- 计算将需要一些时间。显示最终的结果,并将建筑物图重叠在栅格地图 Airphoto_1977_rectified 上,以查看 Airphoto_1977_rectified 的精度。

应用 DEM 创建立体像对

应用 DTM 创建立体像对: Stereopair from DTM: 视角 Look angle: 输入栅格地	应用单个栅格地图和一个数字高程模型(DEM),可以创建一个立体像对。该数字高 程模型可以是 DTM(数字地形模型),也可以是含有地表物体的地表模型(DSM)。 在本实例中,我们将应用 DSM: LidarDEM。输入图为:
图将,将被投影在地形上两 次:首先被重采样,得到左边	 您想要显示在地形图像上的栅格地图,例如,一个扫描的航空影像、卫星 图像或是一个"正规"的栅格地图;
的输出栅格地图,然后重采样 得出右边的栅格地图。左右输 山栅格地图之间的转换 取功	 一个数字地形模型(Digital Terrain Model),例如一个含有高程值的 栅格地图。DTM 也是一种数字高程模型(DEM)。
出栅格地图之间的转换, 取获 于特定的视角。因此, 视角决 定了左、右输出栅格地图, 投 影在地形上的投影角度。 <i>Look modus</i> : 您可以选择将视 角平分到两个输出地图(look modus Both), 例如, 当视角 为 30°时, 左边的输出栅格图 将以偏左 15°的投影角, 投影 在地形上, 右边的输出栅格图 的投影角为偏右 15°。 您需要提供一个 参考高程 (<i>reference height</i>), 也就是 DTM 的高程。当您观察立体	 选择 Operations/Image Processing/Stereopair from DTM。 选择 Raster Map: Airphoto_1977_ortho。选择 DTM: LidarDEM Output stereopaire: Photo_1977。接受默认设置 值,点击 show。 计算将需要一些时间。最终的计算结果将首先被显示在一个双重窗口。 关闭这个窗口,然后选择立体像对 Photo_1977,点击鼠标右键,选 择 Visualization/as anaglyph。选择选项: Red-Blue。 将最终的计算结果显示为补色立体图。选择 Layers/Add Layer,将图 Building_map_ segments 在 Photo_1977 上,以查看 Photo_1977 的精度。
的屏幕上。 此外,在 DTM 中高程值较大 的区域,看上去就好像是从观	查查 立体像对: Photo_1977
祭镜中, 向外凸出的; 高程值 较小的区域, 看上去就好像是 从观察镜, 向内部凹陷的。	 按照相同的方法,创建不同时期:1998年、2001年和2006年的立体像对。为了更好的比较两副图像,请将显示同一区域的两个立体像对,按照下图所示的位置放置(在同一窗口中,并且相邻)。

在完成上述操作后,您将获得 4 幅 RiskCity 的立体像对: Photo_1977, Photo_1998, Image_2001 和 Image_2006。现在,可以应用这些立体像 对,进行图像解译。



采用数字化立体像对进行滑坡制图

Interpeting a digital stereopair (解译数字化的立 体像对):

因为立体像对具有地理参照空 间,所以可以将矢量信息重叠 在其上,并应用 3D 信息对其 进行解译。您可以直接在 3D 图像上,进行屏幕数字化。但 在高差较大的情况下,该方法 并不适合。投影在地形上的矢 量文件,并不具有高程值,其 被投影在同一平面上。在这种 情况下,建议在正射影像上, 进行矢量文件数字化,并将其 与立体影像,相对比。 现在,我们可以应用从上述练习中所得的立体像对,进行不同图像中滑坡的解译。我 们将仅对 1977 年和 1998 年的图像进行解译。1977 年的图像充分的反映了滑坡事 件发生前的情况。此外,由于当时的建筑物密度较低,因此 1977 年的图像是进行老 滑坡制图的最佳图像。1998 年的图像是在滑坡刚刚发生之后拍摄的。因此,通过对 该图像的分析,我们可以得出较理想的滑坡解译结果。

(P

- 打开立体像对 **Airphoto_1977**,选择 *anaglyph/Red-Blue* 选项, 并用 *anaglyph* 眼镜,观察图像。
- 将线段地图: Landslide_boundary,重叠在立体像对上。现在,您可以将您在图像上,观察到的滑坡与滑坡图上显示的滑坡进行对比。
- 打开点地图: Landslide_ID,选择 Single Symbol,并且将其颜色 设置为黄色。每个点都代表着一个滑坡组分(滑坡壁和滑体)。
- 当您双击某一点时,该点所代表的滑坡的属性信息将会出现。您可以查 看滑坡的活动信息,也可以在必要的时候,对其进行修改。
- 打开立体像 **Airphoto_1998**。现在,您可以对两个不同时期的滑坡 进行比较,也可以对它们的属性信息进行修改。
- 您可以与其他同学讨论您的解译结果。如果您对某些滑坡分类持有不同 意见,您可以将这些滑坡勾画出来。

对于有经验的 ILWIS 用户:

对于有经验的 ILWIS 用户: 编辑滑坡图,并且对其进行更新

- 您可以通过改变线段地图 Landslide_boundary 中的线条,或改变点地图 Landslide_ID 中点的方法,改进滑坡调查图。
- 在编辑线段地图时,可以应用 Help 工具,帮助您解决所遇到的问题。确定所有的线条连接完好。在进行下一步操作前,应用 Check Segments 检查编辑结果。
- 在编辑点数据时,确认每个滑坡部分都具有唯一的标识码(ID)。对于您想要添加的新滑坡,您需要在域Landslide_ID中,增加新的ID,同时使新增加的点数字化。在增加新的ID前,确认最后一个ID是什么。此外,还需对属性表格中的信息,进行更新。
- 在您完成了线段地图和点地图的编辑后,您可以创建多边形地图,并可以将其栅格化。

练习 3. 应用统计学方法分析评估滑坡敏感性

预期用时:	3 小时
数 据:	数据来自 subdirectory:/exercise03
练习任务:	本练习将教您如何利用有限的影响因素图,根据基本的双变量统计方法,分析评估滑坡的
	敏感性(仅针对一种滑坡类型)。这种方法是一种信息值方法,也是一种最简单,并较易
	通过 GIS 实现的方法。本练习也将介绍脚本的应用。并用成功率方法,检验输出图。



在该练习中,我们将应用一种较基础,但很有效的方法,即统计学方法(又被称作危害指数方法),生成一个滑坡 敏感性图。该方法是基于下面的公式建立的:

$$W_{i} = \ln\left(\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}}\right) = \ln\left(\frac{\frac{\text{Area(Si)}}{\text{Area(Ni)}}}{\frac{\sum \text{Area(Si)}}{\sum \text{Area(Si)}}}\right)$$

其中,

- Wi = 某一类特定参数的权重值(如: 岩石类别、坡度分类等);
- **Densclas** = 该类参数中的滑坡分布密度;
- Densmap= 整个地图区域的滑坡分布密度;
- Area(Si) = 在某一类特定参数下,滑坡的总面积;
- Area(Ni) = 某一类特定参数所占的总面积。

这种方法的基本思路是采用滑坡地图与参数地图相交叉。通过图形交叉,可以得出交叉表格。该表格可以被用于计 算每类参数范围内的滑坡密度。通过计算整个地图范围的滑坡密度,我们可以得出一个滑坡密度的标准值。采用相 除或相减的方法,可以将每类参数范围内的滑坡密度与滑坡密度标准值联系在一起。在本练习中,我们采用的是相 除的方法。通过对数计算,权重为负值的,表示滑坡密度低于标准值,权重为正值的,表示滑坡密度高于标准值。 通过结合两个或更多的权重地图,可以生成危害地图。危害地图上的数值是通过不同权重值的简单相加得出的。本 练习的主要目的是学习该方法的计算过程,因此我们仅应用了两个影响因素图: Lithology (岩性)和 Slope (坡度)。事实上,其他可能的影响因素图也应该被评估。

Statistical landslide assessment:	
可以采用两种统计学方法,对滑坡敏感性进行评估:	多变量法和双变量法。两
种方法都要求只包含一类滑坡的滑坡地图。每种滑坡	皮类型或滑坡破坏机制,具
有其自身的诱发因素。这样做的目的是,更好的区分	}不同类型的滑坡。此外,
计算尽考虑滑坡壁区域,不考虑堆积区域,因为它们	门的影响因素大不相同。

输入数据

在本练习中,我们将用到滑坡统计图 Landslide_ID, 该图我们在前面的练习中也曾用到过。此外,还将用到许多影响因素图,见下表:

名称	类型	含义
Factor data		
Slope_cl	Raster	Slope class map
Aspect_cl	Raster	Slope direction map (with classes)
Lithology	Raster	Lithological map
Soildepth	Raster	Soildepth map
Landuse	Raster	Landuse map
River_dis	Raster	Distance from rivers
Road_dis	Raster	Distance from roads
Landslide data		
Landslide_ID	Raster map	Points within each of the interpreted landslides with
		associated attribute table
Landslide_ID	Table	Attribute table with information on the landslides in the area.
Other data		
Building_map_segments	Segment	Boundary lines of the buildings in the area.
	map	
High_res_image	Raster	High resolution image of the study area.

滑坡敏感性和滑坡危 害: 滑坡敏感性地图反映 了,在滑坡发生时, 某一地区的相对敏感 性。它只是一个空间 组分。滑坡危害图 (hazard) 还需要包 含滑坡可能发生的时 间概率。多数所谓的 滑坡危害地图,实际 上都仅是滑坡敏感性 地图,因为要获取足 够的滑坡发生的时间 信息,以对其时间概 率进行评估是十分困 难的。

DFDX filter:

它计算的是每个地图 单元的 x 方向的一阶 导数(df/dx)。矩阵中的 值为: 1-8 0 8-1 Gain factor = 1/12 = 0.0833333 DFDY filter: 它计算的是每个地图 单元的 y 方向的一阶 导数(df/dy)。 在此练习中,仅应用一幅影响因素图: Slope_cl(坡度划分图),进行滑坡敏感性分析。所有的 滑坡都被储存在图 Landslide_ID 中,其中还包含了许多滑坡特征信息。

• 打开图 **High_res_image** 并且将图 **landslide_ID** 与其重叠。同时,也打 开一些影响因素图,并察看其内容。

除了滑坡地图外,您还有两个参数地图: 岩性 (地质单元)和 坡度 (滑坡坡度).

对于有经验的 ILWIS 用户:

建立坡度和倾向图

P

☞ 如果您对如何生成坡度分类图和倾向图感兴趣,您可以按照下面的步骤完进行练习:

- 通过等高线内插方法,建立一个 DTM (Operations / Interpolation / Contour interpolation)。
- 计算 X 方向的高程差:选择 Filter operation,并选择数字高程模型 (DTM)作为输入地图,选择 linear filter dfdx,将输出地图命名为 DX。
 采用同样的方法,应用 linear filter dfdy,计算 y 方向的高差,并将输出图 命名为: DY。
- 应用下面的图形计算公式,计算坡度值(以度数为单位):
 - **SLOPEDEG = RADDEG(ATAN(HYP(DX,DY)/PIXSIZE(DEM)))** 应用下面的公式,计算倾向(以度数为单位):
 - ASPECTD = RADDEG(ATAN2(DX,DY) + PI)
- 图 **Slope** 仍然需要被划分为不同的类别(*File/Create/ Domain*)。建立一个分 类域(Class domain) **Slopecl**(不要忘记选择 *group* 选项),并且在该域 中加入您想区分的不同类别,例如您可以每隔 10 度划分一个类别。
- 从主窗口中选择: Operations / Image Processing /Slicing。选择栅格地图
 Slope 和域 Slopecl,并将输出图命名为 Slopecl。采用同样的方法计算
 Aspected。

Case study: GIS for landslide hazard and risk assessment



第1步: 将参数图与滑坡图相交叉

æ

将显示近期滑坡的滑坡图(Active)与参数图交叉。在本练习中,选择参数图 Slope_cl 作为实例。

Map crossing: 交叉操作可以实现两个栅格 地图的重叠。两个地图中处 于同样位置的单元格将被比 较;第一个输入图和第二个 输入图中的地图单元的类 别、标识码和数值将被相互 结合。这些结合的结果将被 储存,并生成输出图和输出 表格。输出的交叉表格将包 含两个图的输入数值、类别 和标识码的结合、进行交叉 的单元格的数量和每个交叉 区域的面积。

• 从 ILWIS 主菜单中选择选项: Operations, Raster operations, Cross。

- 选择图 Slope_cl as the first map, 图 Active as the second map,并将输出表格命名为 Actslope. (忽略默认值对结果并没有影响, 因为两个图中都没有未定义的值)。不选择 Output map 选项框,单击 Show 和 OK,两个图的交叉就开始进行了。
- 观察所得的交叉表格。如您所见,表格中的类是 **Slope_cl** 的 10 个分类 和图 **Active** 的 2 个分类的结合。关闭这个表格。

现在在每个坡度类别中,含有不同活动类别的滑坡的地图单元格的数量已经被计算出来了。因此,滑坡密度也能被计算出来。

第2步:计算滑坡分布密度

在完成图形交叉后,下一步就需要计算密度值。在本练习中,交叉表格中包含的列将被用于计算密度值。具体计算步骤如下:

(P	
	• 打开交叉表格 Actslope 。
	Step 2.1: 在表格中生成新的一列,在该列中仅包含处于活跃状态的滑坡的面积。在表格命令行中,输入下面的计算公式:
	AreaAct=iff(Active=1,Area,0),J
	进行此计算的目的是得出每个坡度类别中,处于活跃状态的滑坡的面积。
	 Step 2.2: 计算每个坡度类别的总面积。 从表格菜单中选择: Columns, Aggregation。 选择 column: Area; 选择 function Sum; 选择 group by column Slope_cl。不选择 Output Table 选项框,将输出列命名为: Areasloptot, 然后单击 OK,选择精度 precision 为 1.0。
	 Step 2.3: 计算每个坡度类别中,处于活跃状态的滑坡的面积。 再次从表格菜单中选择: Columns, Aggregation。 选择 column: AreaAct,选择 function Sum,选择 group by column Slope_cl。不选择 Output Table 选项框,将输出列命名为: Areaslopeact, 然后单击 OK,选择精度 precision 为 1.0。
	 Step 2.4: 计算地图范围内的图形总面积。 再次从表格菜单中选择: Columns, Aggregation。 选择 column: Area,选择 function Sum,不选择 group by 选项框。不选择 Output Table 选项框,将输出列命名为: Areamaptot。然后单击 OK,选择精度 precision 为 1.0。
	 Step 2.5: 下一步是计算地图范围内的滑坡总面积。 再次从表格菜单中选择: Columns, Aggregation。 选择 column: AreaAct,选择 function Sum,不选择 group by 选项框。不选择 Output Table 选项框,将输出列命名为: Areamapact。然后单击 OK,选择精度 precision 为 1.0。
	• Step 2.6: 计算每个坡度类别中的滑坡分布密度。
	在表格命令行输入:
	Densclas=Areaslopeact/Areasloptot,J
	选择精度为 0.0001。
	Step 2.7: 计算整个地图区域的滑坡分布密度。 在表格命令行输入:
	Densmap=Areamapact/Areamaptot₊J
	选择精度为 0.0001,并保留 4 位小数。
提示:	如果 Denclas 和 Densmap 不是 4 位小数,您可以用属性对话框改变保留位数。

结果如下:

Case study: GIS for landslide hazard and risk assessment

D .	Slope_cl	Active	NPix	Area	AreaAct	Areasloptot	Areaslopeact	Areamaptot	Areamapact	Densclas	Densmap
- 5 * 0	0 - 5	0	4169438	4169438	0	4173424	3986	14000000	213446	0.0010	0.0152
- 5 * 1	0 - 5	1	3986	3986	3986	4173424	3986	14000000	213446	0.0010	0.0152
- 10 * 0	5 - 10	0	2718437	2718437	0	2723958	5521	14000000	213446	0.0020	0.0152
- 10 * 1	5 - 10	1	5521	5521	5521	2723958	5521	14000000	213446	0.0020	0.0152
) - 15 * 0	10 - 15	0	1941860	1941860	0	1952714	10854	14000000	213446	0.0056	0.0152
) - 15 * 1	10 - 15	1	10854	10854	10854	1952714	10854	14000000	213446	0.0056	0.0152
5 - 20 * 0	15 - 20	0	1488289	1488289	0	1502075	13786	14000000	213446	0.0092	0.0152
5 - 20 * 1	15 - 20	1	13786	13786	13786	1502075	13786	14000000	213446	0.0092	0.0152
) - 25 * 0	20 - 25	0	1062314	1062314	0	1086549	24235	14000000	213446	0.0223	0.0152
) - 25 * 1	20 - 25	1	24235	24235	24235	1086549	24235	14000000	213446	0.0223	0.0152
5 - 30 * 0	25 - 30	0	826051	826051	0	854335	28284	14000000	213446	0.0331	0.0152
5 - 30 * 1	25 - 30	1	28284	28284	28284	854335	28284	14000000	213446	0.0331	0.0152
) - 50 * 0	40 - 50	0	407252	407252	0	450340	43088	14000000	213446	0.0957	0.0152
) - 50 * 1	40 - 50	1	43088	43088	43088	450340	43088	14000000	213446	0.0957	0.0152
) - 40 * 0	30 - 40	0	1017888	1017888	0	1073296	55408	14000000	213446	0.0516	0.0152
) - 40 * 1	30 - 40	1	55408	55408	55408	1073296	55408	14000000	213446	0.0516	0.0152
0 - 60 * 0	50 - 60	0	125097	125097	0	147443	22346	14000000	213446	0.1516	0.0152
) - 60 * 1	50 - 60	1	22346	22346	22346	147443	22346	14000000	213446	0.1516	0.0152
) - 90 * 0	60 - 90	0	29928	29928	0	35866	5938	14000000	213446	0.1656	0.0152
) - 90 * 1	60 - 90	1	5938	5938	5938	35866	5938	14000000	213446	0.1656	0.0152

现在您已经计算得出了图 Slope_cl 所需要的所有密度值。

第3步:计算权重值

最终的权重值=ln(某类参数范围内的滑坡密度值/整个地图区域的滑坡密度值)(对数计算)。

通过计算得出,整个地图范围内的滑坡密度值等于213446/14000000 = 0.0152。

前面的计算是在图 **Slope_cl** 和 图 **Active** 的交叉表格中完成的。如上表所见,计算结果中包含了许多 多余的数据,因为我们只需要得到每种坡度类别的滑坡密度值和权重值。计算结果应如下表所示,每个 坡度类别只包含一个记录。因此,我们需要把属性表格和图 **Slope_cl** 链接在一起,并采用表格中的插 入功能(Join)和集合功能(Aggregation),从交叉表格中获取数据。

Areasloptot	Areaslopact	Densclas	Weight	
4173424	3986	0.0010	-2.7213	
2723958	5521	0.0020	-2.0281	
1952714	10854	0.0056	-0.9985	
1502075	13786	0.0092	-0.5021	
1086549	24235	0.0223	0.3833	
854335	28284	0.0331	0.7782	
1073296	55408	0.0516	1.2222	
450340	43088	0.0957	1.8399	
147443	22346	0.1516	2.3000	
35866	5938	0.1656	2.3883	
	Areasloptot 4173424 2723958 1952714 1502075 1086549 854335 1073296 450340 147443 35866	Areasloptot Areaslopact 4173424 3986 2723958 5521 1952714 10854 1502075 13786 1086549 24235 854335 28284 1073296 55408 450340 43088 147443 22346	Areasloptot Areaslopact Densclas 4173424 3986 0.0010 2723958 5521 0.0020 1952714 10854 0.0056 1502075 13786 0.0023 1086549 24235 0.0233 854335 28284 0.0331 1073296 55408 0.0957 450340 43088 0.0957 147443 22346 0.11516 35866 5938 0.1656	Areasloptot Areaslopact Densclas Weight 4173424 3986 0.0010 -2.7213 2723958 5521 0.0020 -2.0281 1952714 10854 0.0056 -0.9985 1502075 13786 0.0092 -0.5021 1086549 24235 0.0223 0.3833 854335 28284 0.0331 0.7782 1073296 55408 0.0516 1.2222 450340 43088 0.0957 1.8399 147443 22346 0.1516 2.3000 35866 5938 0.1656 2.3883

P

- 新建一个表格 Slope_cl, 使表格的域为 Slope_cl。这个表格除了类别域 Slope_cl 以 外, 不包含其它列。 按照上述步骤进行操作, 首先进行表格插入。
- Step 1: 计算每个坡度类别的总面积。Calculate the total area in each slope class. 选择 Columns/Join。选择 table: Actslope。选择 column: Area。选择 function: Sum。选择 group by column: Slopecl。选择 output column: Areasloptot。单击 OK。
- Step 2: 计算每个坡度类别处于活动状态的滑坡面积。
 选择 Columns/Join。选择 table: Actslope。选择 column: Areaact。选择 function: Sum。选择 group by column: Slopecl。选择 output column: Areaslopact。单击 OK。
- Step 3: 用这两列,采用下面的公式,您可以计算出每个坡度类别的滑坡密度: Densclas:=Areaslopact/Areasloptot,」
 洗择精度为 0.0001。
- 如果您查看计算结果,您会发现有些类别的密度值为 0。为了计算权重值,需要对其进行 调整。采用下面的公式,对计算所得的密度值进行调整: Dclas:=iff(Densclas=0,0.0001,Densclas),J

最终的权重值可以用下面的公式计算:

Weight:=In(Dclas/0.0152),J

- 查看表格中计算所得的权重值。哪个坡度类别与滑坡的关系最重要?
- 关闭表格。

第4步: 生成权重图

P

表格中的权重值,可以用来生成属性图(attribute map)。

- 从 ILWIS 主菜单中选择: *Operations, Raster operations, Attribute map*。选择 raster map **Slope_cl**, table **Slope_cl**。选择 attribute **Weight**。选择 output raster map **Wslope_cl**。单击 OK。
- 演示结果图 Wslope_cl。将 Stretch 调整为-2.5 到 +2.5
- 用同样的步骤计算参数图: Lithology。将与域 lithology 链接的表格命名为 Lithology_cl,将计算结果图命名为: WLithology。
- 可以用下面的公式,对两个图的权重值进行相加: Weight1=Wslope_cl+WLithology.J
- 演示图 Weight1。并且用单元格信息窗口读取图 Slope_cl, Wslopecl, Lithology, WLithology 和 Weight1 上的信息。

第5步:用脚本计算其它的影响因素图

P

您可以通过应用计算脚本,自动的完成上述计算过程。计算脚本包含了 ILWIS 操作的公式。其中的参数 可以用%1 - %9 的形式表示。当您进行一些操作的时候,命令行中就会显示一些语句,通过拷贝这些语 句,您可以建立一个脚本,并将它储存在脚本文件中。在进行表格计算时,需要在前面加上 TABCALC。 如果您想得到更多关于脚本的信息,可以查看 ILWIS 帮助或用户指南。

Script (脚本):

脚本是一系列 ILWIS 命令流和语 句表达。通过建立一个脚本,您 可以建立自己研究学科的 GIS 和 RS 分析系统。脚本中的每一行 都是一个语句,这个语句可以通 过 ILWIS 主窗口的命令行被运 行。通过脚本,您可以完成一些 必要的对象管理的(如拷贝或删 除)、对象演示操作(如打开或 显示)、建立操作和数据对象的 计算。所有的图形计算、表格计 算和操作语言,都可能在脚本中 被用到。此外,您可以在脚本 中,调用其它的脚本或启动其它 的 Windows 应用程序。

- 自动分析的脚本列在下一页。选择 *File/Create/Script*,并且将下面的脚本内 容拷贝到脚本窗口中去。将脚本保存为 **Weights**。
 - 然后关闭脚本,在命令行中运行脚本:

Run weights Slope_cl

 类似地,您也可以运行脚本,计算一些其它您认为对滑坡影响较大的参数图, 例如 Lithology(岩性)、landuse(土地利用)或 distance from the river(距河流距离)等等。

Run weights aspect_cl Run weights Landuse Run weight River_dis Run weight Lithology 等等.....

脚本中的参数:

在一个脚本中可以应用多个参数。脚本中的参数用于代替对象名称、操作等,其功能相当于 DOS 批 处理文件中的可替换参数。脚本中的参数必须以%1、%2、%3,、最多到%9 的形式,写在脚本编 辑器的脚本表格(Script Tab)上。

	<pre>//script for Information value method // required parameters: %1 = name of the factor map, which should be a class map</pre>
	del active%1.* -force del %1w.* -force
	//calculation in cross table Active%1.tbt := TableCross(%1,active,IgnoreUndefs) Calc Active%1.tbt
	<pre>//Calculate the area of landslides in the crosstable only for the combinations with landslides Tabcalc Active%1 AAct:=iff(active=1,Area,0)</pre>
	//create an attribute table crtbl %1w %1
	<pre>//calculate the total area of landslides within each class of the factor map Tabcalc %1w Areaclassact:= ColumnJoinSum(Active%1.tbt,AAct,%1,1)</pre>
	<pre>//calculate the total area of the class of the factor map Tabcalc %1w Areaclasstot:= ColumnJoinSum(Active%1.tbt,Area,%1,1)</pre>
	<pre>//calculate the total area of landslides in the map Tabcalc %1w Areaslidetot:= ColumnJoinSum(Active%1.tbt,AAct,,1)</pre>
	//calculate the total area of the map Tabcalc %1w Areamaptot:= ColumnJoinSum(Active%1.tbt,Area,,1)
在运行完脚本后,您可 以通过查看属性表格中	//calculate the density of landslides in the class Tabcalc %1w dclass { vr=::0.000001}:=Areaclassact/Areaclasstot
的权 里 值, 评价 参 数 (影响因素) 图 是 否 是 进行 滑坡 预 报 的 有 利 工 县。 您 也 可 以 将 一 些 新	<pre>//correcting for those areas that have no landslides Tabcalc %1w densclass { vr=::0.000001}:= iff((isundef(dclass))or(dclass=0), 0.000001, dclass)</pre>
的、更有意义的参数与 其它不同的参数结合在	//calculate the density of landslides in the map Tabcalc %1w densmap { vr=::0.000001}:=Areaslidetot/Areamaptot
一起,进行分析。这是 一个反复迭代的过程。	//calculate the weight Tabcalc %1w weight:=ln(densclass/densmap)
	//generating the weight map active%1:= MapAttribute(%1,%1w.tbt.weight)
	Show active%1.mpr

第6步:综合所有的权重值得出最终的敏感性图

在运行脚本,完成所有的影响因素图计算后,选择您想用哪些图生成最终的权重图,最后您可以将被选 择的图的权重值相加,得出最终的权重图。

- P
- 按照下面的公式,在命令行中将不同图的权重值相加:

Weight:=activeaspect_cl+activeslope_cl+activelihtology+activelanduse+activ eriver_dis

权重图上有很多值,它并不是一个定性的危害(敏感性)图。为了得出定性的危害(敏感性)图,我们首先需要将权重图划分为几个单元。

•	计算图 Weight 的频率分布图,	并且选择划分三个类别:	低危害、	中等危
	害和高危害的边界值。			

- 建立一个新的域: Susceptibility。选择: *File, Create, Create domain*。该域是一个类别域,选择 Group 。现在输入该域中不同类别的 名称和边界值。输入完成后,关闭该域。
- 最后一步就是用划分程序,对图 Weight 进行分类。选择: Operations, Image processing, slicing。选择 raster map: Weight;选择 output raster map: hazard。选择 domain: Susceptibility。单 击 show 和 OK。
- 通过单元格信息对输出图进行评价。如果必要的话,调整域的边界值,避过 那再次进行分类(slicing)操作,直到得出令您满意的结果。

对于有经验的 ILWIS 用户:

æ

在危害图(敏感性)图中,将老滑坡所在的区域纳入考虑范围,也是十分重要的。您可以通过图形计算公式来完成该项计算。自己设计计算过程和计算公式,并将结果命名为Final。

第7步:计算成功率

可以通过分析成功率和预报率,来评估计算所得权重图的"预报能力"。根据频率分布图提供的频率信息,通过对敏感性图中的单元格,进行从高值到低值的重新排列,计算成功率。然后,将滑坡调查图与敏感性图,相重叠,并计算交叉部分的频率。成功率表示了,在所有的滑坡中,有百分之多少的滑坡,发生在不同影响参数组合下,敏感性值较高的单元格中。例如,50%的滑坡被预测到,将会发生在敏感性值较高的10%的单元格中。

(P

- 用下面的脚本,建立一个用于计算成功率的脚本,并将其命名为: success
- 运行成功率计算脚本,如下:

Run success weight

- 运行完脚本之后,打开表格Activeweight。打开显示Graph,选择列 percentmap 作为X-axis,列percentlandslide作为 Y-axis。评价计算结果, 并且决定将敏感性图(权重图)划分为高、中等和低的最佳边界值。
- 用新的边界值,重新划分权重图。

Case study: GIS for landslide hazard and risk assessment

```
//script for success rate calculation
// one parameter \%1 = weight map resulting from the statistical analysis
del active%1.* -force
// Cross Final with Map: active
Active%1.tbt := TableCross(%1,active,IgnoreUndefs)
//In the cross table, calculate
tabcalc Active%1 npixact:=iff(active=1,npix,0)
tabcalc Active%1 Npcumactive = ColumnCumulative(npixact)
tabcalc Active%1 totalslide = ColumnAggregateSum(npixact,,1)
tabcalc Active%1 totalarea = ColumnAggregateSum(npix,,1)
tabcalc Active%1 percentage:=100*(Npcumactive / totalslide)
tabcalc Active%1 Percentlandslide:=100-percentage
tabcalc Active%1 Npixcumul:= cum(NPix)
tabcalc Active%1 reverse = totalarea -npixcumul
tabcalc Active%1 percentmap = 100*(reverse/totalarea)
// after this display a graph with Percentlandslide az y-axis and Percentmap as x-axis
```



一些备注:

- 本练习中的方法仅应用了有限数量的参数图,只是为了介绍计算的过程。在解决实际问题的过程中,可能用到的参数图远比练习中的多。这种方法也可以用于区分不同参数的重要性。
- 应该对其它不同类型的滑坡进行单独分析,因为它们具有各自不同的诱发因素。
- 这种危害指数方法是一种简单,但较有效的方法。针对特定的研究目的、研究区域尺寸和可以 获取的输入数据,也可以采用很多其它更为合适的滑坡危害评估方法。

🐨 针对有经验的 ILWIS 用户:

• 在练习目录下,还有另外一个脚本,该脚本可以用于计算一种更复杂的方法: Weights of Evidence。如果您感兴趣,可以尝试运行它。

rem ILWIS Script for Weights of Evidence //The parameter %1 refers to the name of the factor map. It should be less than 7 characters long. // Make sure that each map has a domain with the same name //FIRST WE WILL DELETE EXISTING RESULT FILES // the crosstable s%1.tbt //The attribute table %1.tbt // and we make a new attribute table del s%1.* del w%1.* del %1.tbt crtbl %1 %1 //NOW WE CROSS THE FACTOR MAP WITH THE ACTIVITY MAP // The landslide map should be called ACTIVE and should have either 0 or 1 values. 1 values mean landslides. // The cross table is called s%1 s%1=TableCross(%1.mpr,active.mpr,IgnoreUndefs) calc s%1.tbt //Now we calculate one column in the cross table to indicate only the pixels with landslides. Tabcalc s%1 npixact=iff(active=1,NPix,0) //NOW WE USE AGGREGATION FUNCTION, WITH OR WITHOUT A KEY TO CALCULATE: //NCLASS = number of pixels in the class. We sum the values from columns Npix and group them by %1 //nslclass = number of pixels with landslides in the class. We sum the values from columns Npixact and group them by %1 //nmap = number of pixels with landslides in the map. We sum the values from columns Npix and don't group them //nslide = number of pixels with landslide in the map. We sum the values from columns Npixact and don't group them //THE RESULTS ARE NOT STORED IN THE CROSS TABLE S%1 BUT IN THE ATTRIBUTE TABLE %1 Tabcalc s%1 %1.nclass = ColumnJoinSum(s%1.tbt,Npix,%1,1) Tabcalc s%1 %1.nslclass = ColumnJoinSum(s%1.tbt,Npixact,%1,1) Tabcalc s%1 %1.nmap = ColumnJoinSum(s%1.tbt,Npix,,1) Tabcalc s%1 %1.nslide = ColumnJoinSum(s%1.tbt,Npixact,,1) //NOW WE CALCULATE THE FOUR VALUES NPIX1 - NPIX4 AS INDICATED IN THE EXERCISE BOOK. THIS IS DONE IN THE ATTRIBUTE TABLE // We correct for the situation when Npix1 - Npix3 might be 0 pixels, and change it into 1 pixel Tabcalc %1 npix1 = IFF((nslclass>0), nslclass, 1) Tabcalc %1 npix2 = IFF((nslide-nslclass)=0,1,nslide-nslclass) Tabcalc %1 npix3 = IFF((nclass-nslclass)=0,1,nclass-nslclass) Tabcalc %1 npix4 = nmap-nslide-nclass+nslclass //NOW WE CALCULATE THE WEIGHTS IN THE ATTRIBUTE TABLE Tabcalc %1 wplus {dom=value.dom; vr=-10:10:0.00001} = LN((npix1/(npix1+npix2))/(npix3/(npix3+npix4))) Tabcalc %1 wminus {dom=value.dom; vr=-10:10:0.000001} = LN((npix2/(npix1+npix2))/(npix4/(npix3+npix4))) //NOW WE CALCULATE THE CONTRAST FACTOR Tabcalc %1 Cw = wplus-wminus//NOW WE CALCULATE THE FINAL WEIGHT //The final weight is the sum of the positive weight and the negative weights of the other classes Tabcalc %1 WminSum=aggsum(wminus) Tabcalc %1 Wmap=wplus+Wminsum-Wminus //NOW WE MAKE AN ATTRIBUTE MAP OF THE FINAL WEIGHTS w%1.mpr = MapAttribute(%1,%1.Wmap) calc w%1.mpr

练习 4. 应用确定性方法评估滑坡危害

预期用时:	3 小时
数 据:	数据来自 subdirectory:/exercise04
练习任务:	本练习将教您如何采用无限边坡稳定性计算模型,计算一个普通边坡的稳定性。通过练习
	计算每个单元格,在不同地下水位埋深、不同滑面深度情况下的稳定性。

背景知识:

大比例尺滑坡(比例尺大于 1:10,000)灾害分析的最终目的是建立滑坡灾害定量分析图。灾害程度可以用稳定性系数来表示。稳定性系数可以通过抗滑力除以下滑力,计算得出。F大于1表示边坡处于稳定状态;F小于1表示边坡处于不稳定状态;F等于1表示边坡处于极限平衡状态。



背景知识:

计算边坡稳定性的方法有很多种。在此,我们仅采用最简单的计算模型: 无限边坡稳定性计算模型。这种一维的 计算模型假设边坡的破坏面为一无限大的平面。由于可以以单元格为计算单位,因此可以通过 GIS 实现。在参数 图上,所有单元格都被认为是均一的。该模型不考虑相邻单元格之间的相互作用,可以计算每个独立单元格的稳 定性,从而得出灾害的稳定性系数图。稳定性系数计算公式如下(Brunsden and Prior, 1979):



无限边坡模型可以用来计算剖面的稳定性,也可以用来计算单元格的稳定性。进行整个分析的第 一步应该是准备数据。本练习仅计算不同情况(工况)下的平均稳定性系数,不考虑地震因素, 如果想了解相关内容可以参考 Van Westen (1993)??。 平均稳定性系数图可以用作,生成 边坡失稳(破坏)概率图。

观察可视化的输入数据

F

在此练习中,仅采用两个参数图: Soildepth(土层厚度) 和 Slope_map (边坡坡度),对边 坡稳定性,进行分析计算。

• 打开 Soildepth 和 Slope_map 两张图并且察看图上的数值。点击 Display Options 对话框中的 OK 按钮,平面图将会被显示。

Case study: GIS for landslide hazard and risk assessment

数据准备



现在唯一的未知参数为地下水位埋深,其在无限边坡稳定性计算公式中,是通过 m 值表示的。 M 值反映了地下水位埋深与破坏面深度之间的关系。

Sine 和 Cosine

在 ILWIS 的公式中, sine 和 cosine 的输入数据只能以弧度为单 位,而我们的 Slope_map 是以度 数为单位的。因为,我们首先应将 Slope_map 从以度数为单位,转化 为以弧度为单位。

在您开始分析计算前,首先应察看 **Slope_map** 图。计算中所需要 的三个参数是从该图中得出的:

sin(slope) = 边坡坡度的正弦值

cos(slope) = 边坡坡度的余弦值

cos2(slope) = cos(slope)*cos(slope) (坡度余弦值的平方)

在 ILWIS 的公式中, sine 和 cosine 的输入数据只能以弧度为单位,而我们的 Slope_map 是 以度数为单位的。因为,我们首先应将 Slope_map 从以度数为单位,转化为以弧度为单位。 ILWIS 具有 **Degrad** 公式,如:

Degrad(Slope) 角度向弧度转换功能: slope*2π/360

(j)

• 在 command line (命令行)中键入下面的公式:

Sirad:=degrad(Slope_map),→ 接受默认的最小值,最大值和精度

 打开计算结果 Slrad,并对比其上的数值与 Slope_map 上的数值。并采用 ILWIS pocket line calculator (例如在 command line 中键入"? sin(PI/2)",结果"1"即会出现)或是 Windows 计算器,按照上面所给的公 式,计算一些单元格的弧度值。

现在我们可以在已将单位转换为弧度的边坡中计算正弦和余弦值。你可以分别对每张图中边坡的正弦与余弦值进行计算,这样可以更加容易地通过公式 6.1 得到稳定性系数的值。



现在您已获取了所有稳定性计算公式所需要的参数,除了 m,其反映地下水位的埋深。

在 ILWIS 中建立一个无限边坡稳定性计算的公式

P

Functions(公式) ILWIS 中除了内部自带的 公式外,用户可以自己创 建新的公式。特别是当您 需要,多次键入同一个计 算公式时,用户自定义公 式可以帮助您节省大量的 时间。用户自定义公式是 一种计算的表示形式,它 可能是某些操作,其他公 式,图和表中的某些列的 结合。

在接下来的这部分中,	您将学习应用无限边坡稳定性计算公式,计算不同情况(工况),	不同输
	入数据条件下的边坡稳定性。为了避免您每次重复键入计算公式,	您可以
	建立一个用户自定义的公式,进行稳定性计算。	

- 双击 operations list 中的 New Function. The Create function 对话框 被打 开。
 - 键入 Function Name: Fs
 键入 the expression:
 (Cohesion+(Gamma-m*Gammaw)*Z*Co2*Tanphi)/ (Gamma*Z*Si*Co)
 键入 the Description: Safety factor.
 - 单击 OK, Edit Function 对话框被打开,单击 OK。

在这个对话框中,您可以编辑公式。目前的公式表达形式为:

Case study: GIS for landslide hazard and risk assessment

Function fs(Value Cohesion,Value Gamma,Value M,Value Gammaw,Value Z,Value Co2,Value Tanphi,Value Si,Value Co) : Value Begin Return (Cohesion +(Gamma-M*Gammaw)*Z*Co2*Tanphi) /(Gamma*Z*Si*Co) End;

您可以看到公式包含以下一些变量(被列在第一行):

- Value Cohesion: 有效内摩擦角值;
- Value gamma: 土体重度值;
- Value m: z_w/z(地下水位埋深/破坏面深度);
- Value gammaw: 水的重度值;
- Value z: 破坏面的深度.
- Value co2: 边坡坡度余弦值的平方;
- Value tanphi: 有效抗剪强度角的正切值;
- Value si: 边坡坡度正弦值;
- Value co: 边坡坡度余弦值。

然而,大量的变量都是固定的,您可以用它们进行所有不同情况(工况)的计算。这些固定的变量为: Value Cohesion (11000 Pa), Value Gammaw (10000 N/m³), Value Z (栅格图 **Soildepth**), Value Co2 (栅格图 **Co2**), Value Tanphi (**0.625**), Value Si (raster map **Si**), and Value Co (raster map **Co**)。

所以您可以在很大程度上简化该公式,如下:

```
Function fs(Value Gamma,Value M) : Value
Begin
Return(11000+((Gamma-m*10000)*Soildepth*Co2*0.625))
/(Gamma* Soildepth *Si*Co)
End;
```

如您所见,公式中只有两个变量: Value Gamma(土体重度)值 and Value m(z_w/z)。



不同地下水位埋深工况下的稳定性系数计算

P

现在我们已经完成了计算公式的建立,可以开始计算不同情况(工况)下的边坡稳定性系数。在第一部 分中,仅考虑降雨为诱发因素,进行不同地下水位埋深工况下的稳定性系数,未考虑地震的影响。

无水工况

首先计算土体处于完全无水条件下的稳定性系数。在这种情况下, m 等于 0。 回顾前文所给的计算参数:

c' =	有效内聚力 (Pa= N/m2)	= 11000 Pa
γ =	土体重度 (N/m3)	= 11000 N/m3
γw =	水的重度 (N/m3)	= 10000 N/m3
z =	破坏面深度 (m)	= map Soildepth
m =	z _w /z (无量纲)	= 0
β =	坡面倾角 (°)	= map Slope_map
φ' =	有效抗剪强度角 (°)	= 32 °
tan(\\ell') =	有效抗剪强度角的正切值	= 0.625
sin(β) =	坡度的正弦值	= map Si
cos (β) =	坡度的余弦值	= map Co
$\cos 2(\beta) =$	坡度的余弦值的平方	= map Co2

现在您可以真正开始计算干燥条件下的稳定性系数图了。公式 Fs 中包含两个变量: 11000 (Value Gamma)和 0 (Value m)。

(h		
	•	在 command line (命令行)中键入下面的公式:
		Fdry:=Fs(11000,0),J
	•	设置最小值为 0,最大值为 100,精度为 0.1。
	•	打开计算结果图 Fdry ,将该图上的数值与输入图上的数值。按照无限边坡稳定性系数计 算公式,采用 ILWIS pocket line calculator 或是 Windows 计算器,手动的计算一些 单元格的稳定性系数,以验证计算结果 Fdry。

在计算结果图(**Fdry**)中,部分单元格的数值可能会丢失。丢失的数据显示为"?"。仔细观察这些单元格,您可以发现,它们不能被计算的原因可能是基岩上部没有土层(基岩出露区),也可能是地形过于平坦。这两种情况下的稳定性都较高,因此您可以放心的把它们归入"稳定"区域。

正如您所想象的一样,上述完全干燥的情况,不可能发生在,如"RiskCity"所在的热带地区,那里每年都有大量的降雨。图 **Fdry**显示的是最稳定的情况。现在让我们来看一下,在这种干燥条件下,百分之多少的区域是不稳定的。为了得出该结果,我们首先应将 **Fdry** 划分为三个类别(classes):

不稳定	=稳定性系数小于1
极限状态	= 稳定性系数在 1~1.5 之间
稳定	= 稳定性系数大于 1.5

P			

•	建立一个新的	的数值域 Stabil	(type class, group),	包含下面三个类别	(classes) :
	<u>Boundary</u>	Name			
	1	Unstable			
	1.5	Critical			
	100	Stable			

- 用"Slicing"操作,按照数值域 Stabil,对图 Fdry 进行划分,得出图 Fdryc。
- 计算图 Fdryc 的 histogram(柱状统计图),制作一个表格,将三个类别(不稳定,极限状态和稳定)的百分比,记录在一列,将该列命名为 Dry。后面,我们将计算其它情况下,该三个类别所占的不同百分比。

不稳定单元格的比例,给了我们错误的暗示。因为,在无水条件下,不稳定单元格是不可能发生失稳的。

完全饱和条件

下面的工况,将评价坡体处于完全饱水条件下的稳定性。虽然这是一种极端情况(不是很实际),但它能给我们提供,仅有一种诱发因素(暴雨导致地下水位较高)情况下,边坡最差稳定性的估计。 当土体处于全饱和状态时,无限边坡稳定性计算公式中的 *m* 值等于 1,也就是地下水位面达到了坡面。 此外,还有一个参数 γ,在土体处于完全饱和状态下,将发生变化:

c' =	有效内聚力 (Pa= N/m2)	= 11000 Pa
$\gamma =$	土体重度 (N/m3)	= 16000 N/m3
γw =	水的重度 (N/m3)	= 10000 N/m3
z =	破坏面深度 (m)	= map Soildepth
m =	z _w /z (无量纲)	= 0
β =	坡面倾角 (°)	= map Slope_map
φ' =	有效抗剪强度角 (°)	= 32 °
$tan(\phi') =$	有效抗剪强度角的正切值	= 0.625
$sin(\beta) =$	坡度的正弦值	= map Si
cos (β) =	坡度的余弦值	= map Co
$\cos 2(\beta) =$	坡度的余弦值的平方	= map Co2

公式 Fs 中包含两个变量: 16000 (Value Gamma)和 1 (Value m)。

() I		
	 在 command line (命令行)中键入下面的公式: 	
	Fsat:=Fs(16000,1),J	
	 设置最小值为 0,最大值为 100,精度为 0.1。将 Geof "Somewhere"。 	Reference 改变为
	 打开计算结果图 Fsat,对比该图、图 Fdry 和输入图」 数计算公式,采用 ILWIS pocket line calculator 或是 一些单元格的稳定性系数,以验证计算结果 Fsat。 	上的数据。按照无限边坡稳定性系 Windows 计算器,手动的计算
	 用 "Slicing"操作(在 image procession 菜单下), 进行划分,得出图 Fsatc。 	按照数值域 Stabil,对图 Fsat
	 计算图 Fsatc 的 histogram(柱状统计图),将三个类的百分比,记录在一列,将该列命名为 Sat。对比该列中列中的数据。 	别(不稳定,极限状态和稳定) □的数据与前述干燥条件下的 Dry

现在,我们已经计算完了所有的工况,可以将结算结果列入表格中,进行对比。

P

- 从数值域 **Stabil** 建立一个新的表格。Create a table from the domain **Stabil**.
- 选择菜单中的 Columns, Join 并选择 Table histogram of Fdryc;选择 the column (列) Npixpct. 将 output column (输出列)命名为 Dry。接受默认值,单击 OK。
- 按照同样的方法,也 Join Table histogram of **Fsatc**,将 output column (输出 列)命名为 **Sat**。
- 单击主菜单中的 Graph 按钮 ,移除 X axis 前的勾号标记,选择 Dry 作为 Y axis,单击 OK。您将会看到,在干燥条件下,三种不同稳定性类别,所占的面积百分比的柱状统计图。
- 在 Graph 窗口中, 打开 *Edit menu, Add Graph* 并选择 *from columns*. 选择 Y axis Sat。
- 得出地下水对该区域土体稳定性影响的一些结论。

部分饱和条件:



• 得出一些关于地下水对滑坡稳定性影响的结论。

对于有经验的 ILWIS 用户:

对于有经验的 ILWIS 用户:

采用不同的内聚力和内摩擦角数值

 根据不同的土层类型和岩体类型,采用不同的内聚力、内摩擦角和重度,对于稳定 性计算也是十分重要的。您可以通过在表 Lithology 中加入列 Cohesion, FrictionAngle 和 Gamma,来完成该项计算。

对于有经验的 ILWIS 用户:

采用不同的破坏面深度

在前面的练习汇中,我们仅用一个破坏面深度,也就是土层的厚度。这种情况与现实情况可能不太相符。计算破坏面深度分别为:2m,3m,5m和10m时的边坡稳定性。

对于有经验的 ILWIS 用户:

计算临界 m 值

• 设计一种计算临界 m 值的方法,也就是在不同土层深度,不同坡度情况下,前述 公式中 F=1 时的 m 值。

练习 5. 滑坡损失评估

3 小时

预期用时:

数

据: 数据来自 subdirectory:/exercise05

练习任务: 本练习将教您两种滑坡灾害风险评估的方法。一种方法是定性评价方法,它是通过建立一个由滑坡敏感性和易损性等级组成的矩阵,对滑坡风险进行定性评估;另一种方法是一种半定量的方法,该方法应用滑坡发育的不同时期,计算滑坡发生的时间概率,并将敏感性图转化为灾害图,然后结合可能受威胁对象的有关信息,最终得出风险图。

输入数据

在这个练习中,我们将用到滑坡敏感性图(Susceptibility),该图是我们在练习3中,通过统计学方法计算得出的。为了计算受威胁对象的数量,我们将用到两副计算图:

"mapping_units"反映建筑分区信息; "building_map"反映了单个建筑信息。此外,结合滑坡发生的时间概率(可能性)信息和图 Landslide_ID,可以将敏感性图转变为 灾害图。

名称	类型	含义		
Elements at risk				
Mapping_units	Raster	Building blocks of the city		
Mapping_units	table	Table containing general statistical information on the number of buildings and people per building block		
Building_map	Raster	Map showing individual buildings.		
Building_map_segments Segment The boundary lines of the buildings				
Landslide data				
Landslide_ID	Raster	Points within each of the interpreted landslides with associated attribute table		
Landslide_ID	Table	Attribute table with information on the landslides in the area.		
Susceptibility	Raster	Landslide susceptibility map made using a statistical method.		
Other data				
High_res_image	Raster	High resolution image of the study area.		

第1部分:滑坡灾害风险评估定性方法:矩阵法



在无法获取足够的滑坡发生时 间信息,进行滑坡发生概率统 计的情况下,建议使用将滑坡 灾害图(定性)与易损性图 (定性)相结合的方法进行评 估。定性的滑坡灾害图事实上 就是滑坡敏感性图。滑坡易损 性图可以反映受威胁对象的数 量(在本实例中,主要是建筑 物数量和人口数量)。

矩阵方法是建立在将滑坡灾害与易损性图结合的基础上的

(如左图所示)。

在滑坡敏感性图中我们将活动的滑坡划入高敏感性区域,将老滑坡划入中等敏感性区域。 滑坡敏感性图的名字为"Susceptibility"。我们还将用到栅格地图 Mapping_units 和与之相联系的表格,对易损性进行分析。

制作易损性图

æ

Ŧ

- 应用地理参照空间 Somewhere, 光栅化图 mapping_units。
- 打开表格 Mapping_units 并且察看表格中不同的列。
- 打开图 **Susceptibility**,并察看该图的内容,同时将滑坡范围图重叠(overlay)在该图上。

如下表所示,该表中的两列分别表示了每个单元的建筑物数量和人口数量。根据建筑物数量和 人口数量,可以将易损性划分为三类。我们将根据建筑物数量,应用最简单的划分方法,对易 损性进行划分,如下表所示(您可以对该表的划分方法,进行优化):

	每个单元的建筑物数量	每个单元的夜晚人口数量
低易损性	< 5	< 3
中等易损性	6 – 25	4 -20
高易损性	> 25	> 20

我们将仅应用建筑物的数量来建立易损性矩阵,但您也可以基于人口数量对易损性进行划分, 建立矩阵,并察看其结果。

我们就可以应 用 Spatial Multi Criteria Evaluation 方 法,采用多种 评判标准,对 易损性进行精 确的估算。

这显然是对实际情况的大大简化。如果有足够的时间,

- 建立一个分类数值域 Vulnerability, 包括三类(Low_v, Moderate_v, High_v).
- 在表格 **Mapping_units** 中建立一列 **Vuln_buildings**,该列是根据上表中建筑 物数量的评价标准,应用如下公式,生成的:
- Vuln_buildings:=iff(nr_buildings<5,"Low_v",iff(nr_buildings<25, "Moderate_v", "High_v"))
- 应用一个公式,在表格 Mapping_units 中,基于上表中的评价方法,建立一列 Vuln_population。自己设计这个公式。
- 结合两种类型的易损性(vuln_buildings 和 vuln_population),并且确定 公式中的最高级等级。提示:在您的公式中,应用 OR 选项。在您的表格中设计这 个公式。将输出列命名为: vulnerability (应用您前面建立的数值域 Vulnerability)

目前,您已经建立了易损性这一列,并且可以轻松的通过图 Mapping_units 建立 Vulnerability 的特征图。

(j)

应用栅格地图 Mapping_units 和表格中的 Vulnerability 列,建立特征地图。

结合危害和易损性

下一步,我们将结合易损性和敏感性图,使其转化为灾害图。我们通过二维表格的方法来实现两者的结合,该表格类似于前文所示的矩阵图。

(P
• 选择 File, Create, 2 Dimensional Table. 输入下列参数:
Table name: Qualitative_risk Primary Domain: Susceptibility Secondary Domain: Vulnerability
Contents Domain: 建立一个新的分类数值域 KISK , 开添加分类: High_risk, Moderate_risk, 和 Low_risk。
• 在命令行中运行下面的公式:
Qualitative_risk = Qualitative_risk [Susceptibility,Vulnerability]

仔细察看所得的定性风险图。

计算处于高、中等和低风险区的面积百分比。

	面积百分比
高滑坡风险	
中等滑坡风险	
低滑坡风险	

For experienced ILWIS users

^{了了}对于有经验的 ILWIS 用户:

优化易损性图

可以通过另一种对易损性对象的划分方法,如考虑将人口数量和城市用地作为 易损性分析划分标准。试着完成它,并观察结果有何改善。

☞ 对于有经验的 ILWIS 用户:

优化滑坡敏感性图

 您也可以通过将危害等级划分为四种(除了前述的三种高、中等和低之外, 增加一种:非常高,该等级包含最近发生滑动的滑坡),来优化滑坡敏感性
 图。调整矩阵,使其包含4个等级的危害性和易损性。

^{了了}对于有经验的 ILWIS 用户:

包括道路系统

在练习中,我们没有考虑道路系统。尝试对道路系统的易损性和风险进行评估,并观察结果。

第2部分: 半定量的滑坡风险评估方法



Figure: 计算处于滑坡高、中等和低敏感区的受威胁对象的数量

我们现在开始应用将栅格地图 mapping_units 和 susceptibility 重叠的方法,分析受威胁对 象的数量。



Case study: GIS for landslide hazard and risk assessment

现在我们已经计算得出了每种敏感性等级,所占的地图单元的百分比。我们也能够计算出来,每个地图单元,处于每种敏感性等级的建筑物数量。在此,我们假设建筑物在每个地图单元中的分布是均一的,这可能和实际情况有所不符。关于建筑物数量的信息被保存在表 **Mapping_units**中。

(g=		
	•	打开表 manning units 并宛丢列 nr huildings 的内穷 伏后打开表
	•	11 升农 mapping_unts 开家有列 m_banangs 的科社。然但11 开农
		Mapping_units_LSS。
	•	Join 表 Mapping_units ,并读入表中的 nr_buildings 列。
	٠	然后您就可以计算每种不同地图单元和敏感性等级中,所包含的房屋数量。例如,高敏
		感性区域的房屋数量为:
		LS_Risk_high = LSS_high * nr_buildings
		计算业协工调捷宣钟成批区域的良民首教导 计收其记录方下主由 采用同样的专注计

 计算出处于滑坡高敏感性区域的房屋总数量,并将其记录在下表中。采用同样的方法计 算处于中等和低敏感区域的房屋总数量,并检查房屋总数量是否正确。

	房屋数量	百分比
高敏感性		
中等敏感性		
低敏感性		

为了便于后面的风险评估计算,我们可以将处于高、中等和低风险区的房屋数量,插入在表格 Mapping_units 中。



我们有必要生成一些特征地图,以显示每个地图单元的哪些地方,处于高敏感、中等敏感和低敏感区域,以及处于这些区域的房屋数量。



应用单个建筑物(Using the individual building)

上述计算结果可能具有一定的误导性,因为计算所得的损失是以每个地图单元为单位的,而不 是处于高危险区的每个建筑物的损失。如果您有 building footprint 地图,如本练习中的 Building_map,您可以用栅格地图 Susceptibility 与栅格地图 Building_map,相交 叉,来分析以每个建筑物为单位的损失。

 选择 Operations / Raster Operations / Cross。交叉栅格地图 Building_map 和 Susceptibility。 建立一个交叉表格 building_nr_LSS。选择输出地图为 building_nr_LSS。

• 可以在交叉表格 Building_nr_LSS 中,反映处于高危险区的建筑物,通过下面的 公式可以实现该计算:

LR_high:=iff((Susceptibility ="high"),1,0)

- 用同样的方法计算中等和低危险区的建筑物。
- 将计算结果显示栅格地图 building_nr_LSS 的属性 (不要忘记在特征表格中,将表 与图链接在一起)
- 在下表中填入建筑数的数量。

	建筑物数量	百分比
高敏感性		
中等敏感性		
低敏感性		

Note 这两种方法计 算出来的建筑物数 量并不相符。因 为,在用 Mapping_units 表格 估算的建筑物数量 时,还未得到 building footprint msp。

•	比较上表与前面的计算结果,	您能得出什么结论?
-	14.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.	

现在我们仅能计算风险评估公式中的"Amount"部分:

Risk = Probability * Vulnerability * <u>Amount</u>.

如果我们假设滑坡发生时,受威胁(处于危险中)的对象(如房屋等)将完全被摧毁,在这种 情况下,易损性(Vulnerability)为"1"。"Amount"部分实际上等 Vulnerability*Amount=Consequences。

对于有经验的 ILWIS 用户

P

Ē



^② 对于有经验的 ILWIS 用户:

改进不同尺寸的建筑物数量的计算方法

• 该方法可以被用作计算处于高和中等风险区的不同尺寸、不同城市用地类型 的建筑物的数量。试着计算,并将计算结果记录在表格中。

对于有经验的 ILWIS 用户:

改进易损性(vulnerability) 的计算

 根据不同建筑物的尺寸和楼层数量的差异,风险评估公式中的 "Vulnerability"也可以是小于1的。可以假设越高越大的建筑物,受滑坡 的影响程度越小,可能不会完全垮塌。您能想到一种方法去计算它吗?

🌮 对于有经验的 ILWIS 用户:

用 Cost 乘以 Amount 替换风险评估公式中的 Amount

• 在风险评估公式中,可以用"Amount"乘以 Cost(建筑物的价值) 来替换 "Amount"。不同建筑物的 Cost 根据其用地类型等是不同的。

第3部分: 定量计算每年的风险,并生成滑坡风险曲线

滑坡风险评估的第三种方法是一种定量的方法。根据风险评估公式,该方法假设我们能得滑坡 发生的空间概率、时间概率、易损性、受威胁(处于风险中)对象的数量。

```
Risk = Hazard * Vulnerability * Amount.
```

我们必须计算 hazard (=probability) 和 vulnerability。现在我们唯一已经计算出来的 组份是处于高、中等和低度滑坡危险区内的建筑物的数量(Amount)。我们需要分析下面一些问题:

- 1. 百分之多少的高、中等和低危害等级区域,可能受到滑坡的影响?
- 2. 这些滑坡发生的周期是多少?
- 3. 受滑坡威胁对象的易损性是多少?

从 susceptibility 到 hazard

为了能够得出 hazard (灾害概率) 地图,我们需要得出以下两部分:

- 时间概率(Temporal probability):受某一诱发因素影响,滑坡可能发生的时间概率。这里,我们滑坡诱发因素的重现期与滑坡重现期联系在一起,将其划分了下面几个重现期:50,100,200,300和400年一遇。
- 空间概率(Spatial probability): 某一特定区域,受某一时间概率(重现期)滑坡影响的空间概率。空间概率可以通过计算不同危害等级中,滑坡的密度(滑坡面积所占的百分比)来得出。

Hazard = temporal probability * spatial probability

如果对高、中等和低敏感区(危害区)的定义是正确的,不同重现期的滑坡在这三个级别中的分布也是不同的。这种分布的概率可以通过用时间概率(temporal probability =1/return period for annual probability, 1/重现期,即每年的概率)乘以空间概率(spatial probability= what is the chance that 1 pixel is affected,每个单元格受滑坡影响的概率)。

Ē

- 根据表格 Landslide_ID 中的 ReturnPeriod 列,生成特征地图,并命名为: Landslide_RP。
- 察看栅格地图 Landslide_RP 和 Susceptibility 的内容。
- 将栅格地图 Susceptibility 和 Landslide_RP 进行交叉, (Raster Operations, Cross, <u>do not ignore undefined values</u>)。将输出表格命名为: Hazard_RP。
- 应用 aggregation 功能,计算每一种危害等级(高、中等和低)的面积,并按 照下表的结构,将其写在 EXCEL 文件中。
- 计算累计滑坡面积(见下表),其假设条件为: assumption is that events with a larger return period will also trigger those landslides that would be triggered by events from smaller return periods(重现期较长的事件,会诱发一些比其重现期小的事件就能够 诱发的滑坡)。
- 现在在 EXCEL 文件中计算每种重现期,每种滑坡危害等级下的滑坡密度,并且 将结果写在下表中。

滑坡密度是在每种不同危害等级下,滑坡发生的空间可能性。换句话说,也就是在某一特定的 重现期内,某一房屋被处于某一危害等级的滑坡破坏的概率。

Hazard		1/50	1/100	1/200	1/300	1/400
High	Landslide area	46578	375898	231863	190954	107777
	Cumulative landslide area	40507	400.470	05 4000	045000	052070
	Class area	2566790	422470	054339	040293	953070
	Spatial probability (=density)	0.01815	0.1464	0.0903	0.0744	0.0420
	Temporal Probability	0.02	0.01	0.005	0.0033	0.0025
	Hazard	0.000362				
Moderate	Landslide area					
	Cumulative landslide area					
	Class area					
	Density					
	Temporal Probability					
	Hazard					
Low	Landslide area					
	Cumulative landslide area					
	Class area					
	Density					
	Temporal Probability					
	Hazard					

下一步是计算时间概率。因为,我们计算的是每年的损失,所以用1除以重现期,就可以得到每年滑坡发生的概率。

P

• 现在在 EXCEL 文件中, 计算每种危害等级、各种重现期的滑坡, 发生的时间概率, 并将结果记录在该表格中。

如前所述, **Hazard**(灾害概率)是通过 temporal probability (时间概率)乘以 spatial probability (空间概率)计算得出的。所以它是在某一特定的危害等级下,某一特定位置可能受滑坡影响的年概率。

P

P

• 现在在 EXCEL 文件中计算每种危害等级,在各种重现期下的滑坡发生概率,并且 将其记录在表格中。

分析各种危害等级的滑坡发生概率(Hazard),可以得出哪些结论?

计算结果

在前面的练习中,我们已经计算得出了处于高、中等和低危害区的建筑物的数量。这些数据储存在表 Mapping_units 中的列: Nr_B__high, Nr_B_moderate 和 Nr_B_Low 中。

易损性估算

估算受滑坡威胁对象的易损性是十分复杂的。它需要对建筑物类型、滑坡方量和速度等信息都 有所了解。而这些都是很难估算的。因此,在许多滑坡实例中,建筑物的易损性常被简化为 "1",即假设受威胁对象(处于风险中的对象)完全被毁坏。然而,在我们的实例中,这种 假设会造成计算所得的风险值被放大。因此,我们应用下面的假设(您可以对其进行优化): 3 层或3 层以上的建筑物数量越多,受滑坡影响的房屋的易损性就越低,因为大的建筑物被滑 坡完全摧毁的可能性较小

当然,您可以对这一假设提出置疑,并对其进行修正,同时还可以考虑用地类型对易损性的影响(例如对于居民区,可以给予较高的易损性)。此外,我们也可以用从滑坡图中所得的滑坡 方量,作为评价滑坡量级的指标。但是,这将使该练习变的十分复杂。因此,我们仅限于上述 简单的假设,对受滑坡影响对象的易损性进行估算。

• 在表格 Mapping_units 中运行下面的公式,以生成 vulnerability 列:

Vuln:=iff(PerVacant=1,0,1-(Perc3floor+Percover3floor))

• 将计算结果显示为栅格地图 **Mapping_units** 的一个特征图。 vulnerability 值 的变化范围是多少? 所得结果合理吗?

损失估算

现在我们已经计算得出了,所有滑坡风险评估所需要的组份,可以开始计算滑坡风险了。该计 算可以在表格 Mapping_units 中被完成。首先,我们将计算 1/50 年重现期(50 年一遇) 的滑坡损失。 æ

• 在表格 **Mapping_units** 中, 计算每种危害等级, 各种重现期下的滑坡损失。将 所得的损失计算结果(被破坏的房屋数量)记录在下面的表格中。

```
Loss050_high:= 0.0181 * vuln * Nr_B__high
Loss100_high:= 0.1672 * vuln * Nr_B__high
等等。
```

对所有等级,所有情况(不同重现期)的滑坡损失进行计算。每次都将整个区域的损失总数 值,记录在下面的表格中。下表中的空间概率(spatial probability),在前面已经计算出来 了,并记录在前面的表格中。

Return period		Spatial Prob	Vuln	Amount	Losses per class	Losses per scenario.
50	Risk050_High	0.0181	Vuln	Nr_Bhigh		
	Risk050_Moderate	0.1672	Vuln	Nr_Bmod		
	Risk050_Low		Vuln	Nr_Blow		
100	Risk100_High		Vuln	Nr_Bhigh		
	Risk100_Moderate		Vuln	Nr_Bmod		
	Risk100_Low		Vuln	Nr_Blow		
200	Risk200_High		Vuln	Nr_Bhigh		
	Risk200_Moderate		Vuln	Nr_Bmod		
	Risk200_Low		Vuln	Nr_Blow		
300	Risk300_High		Vuln	Nr_Bhigh		
	Risk300_Moderate		Vuln	Nr_Bmod		
	Risk300_Low		Vuln	Nr_Blow		
400	Risk400_High		Vuln	Nr_Bhigh		
	Risk400_Moderate		Vuln	Nr_Bmod		
	Risk400_Low		Vuln	Nr_Blow		

生成风险曲线

当您计算完五种不同工况下(五种不同的重现期)下的滑坡损失值后,现在您可以计算风险、 和累计风险,并画风险曲线。首先填写下表:

Return Period	Temporal probability	Losses	Specific risk	
50	0.02			
100	0.01			
200	0.005			
300	0.00333			
400	0.0025			
Total risk (buildings)				

现在画一个曲线,以每种工况(每种重现期)的损失为 X-axis,以滑坡发生的年概率为 Y-Axis。每一年的总损失为该曲线下的面积,见下图:





对于有经验的 ILWIS 用户

