

# 土地利用情景变化动力学（Land Use Scenario Dynamics, LUSD）模型（v1.0）用户手册

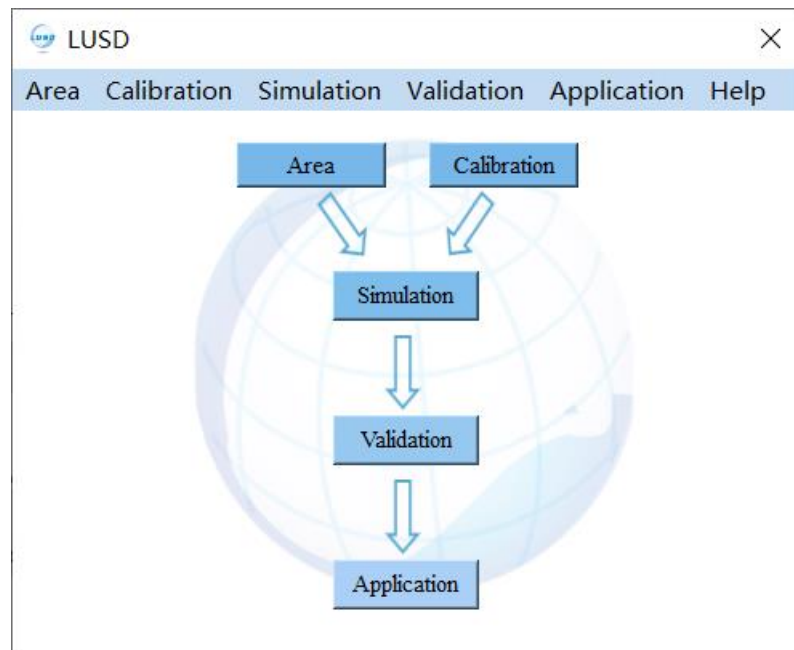
何春阳 刘志锋 潘鑫豪等

# 目录

1 模型架构 .....	1
2 模型下载 .....	1
3 模型启动 .....	1
3.1 模型界面 .....	1
3.1.1 主菜单 .....	2
3.1.2 主界面 .....	3
3.2 示例数据介绍 .....	4
3.2.1 数据说明 .....	4
3.2.2 数据要求 .....	5
3.3 Area 模块介绍 .....	5
3.3.1 启动模块 .....	5
3.3.2 输入 Calculation、Prediction 数据 .....	6
3.3.3 运行 Area 模块 .....	6
3.3.4 保存结果 .....	7
3.4 Calibration 模块介绍 .....	7
3.4.1 启动模块 .....	7
3.4.2 输入开始年份和结束年份 .....	8
3.4.3 输入土地利用类型及其继承性 .....	8
3.4.4 设置模型参数 .....	9
3.4.5 输入城市扩展适宜性因素 .....	10
3.4.6 运行 Calibration 模块 .....	10
3.5 Simulation 模块介绍 .....	11
3.5.1 启动模块 .....	11
3.5.2 输入开始年份 .....	11
3.5.3 输入土地利用类型及其继承性 .....	12
3.5.4 设置模型参数 .....	12
3.5.5 输入城市扩展适宜性因素 .....	13
3.5.6 输入限制图层（可选） .....	13
3.5.7 输入结果保存路径 .....	14
3.5.8 运行 Simulation .....	14

3.6 Validation 模块介绍 .....	14
3.6.1 启动模块 .....	14
3.6.2 输入真实数据和模拟结果 .....	15
3.6.3 输入城市对应值 .....	15
3.6.4 运行 Validation .....	15
3.7 Application 模块介绍 .....	15
3.7.1 启动模块 .....	15
3.7.2 输入模拟结果 .....	15
3.7.3 输入城市对应值 .....	15
3.7.4 输入结果保存路径 .....	16
3.7.5 运行 Simulation.....	16
4 模型操作注意事项 .....	16
5 附录：模型原理 .....	17

## 1 模型架构



软件包括五部分。

- 1) Area: 计算未来城市面积；
- 2) Calibration: 计算各个影响因子权重；
- 3) Simulation: 模拟城市扩展；
- 4) Validation: 精度评价；
- 5) Application: 模型应用，划定城市增长边界。

## 2 模型下载

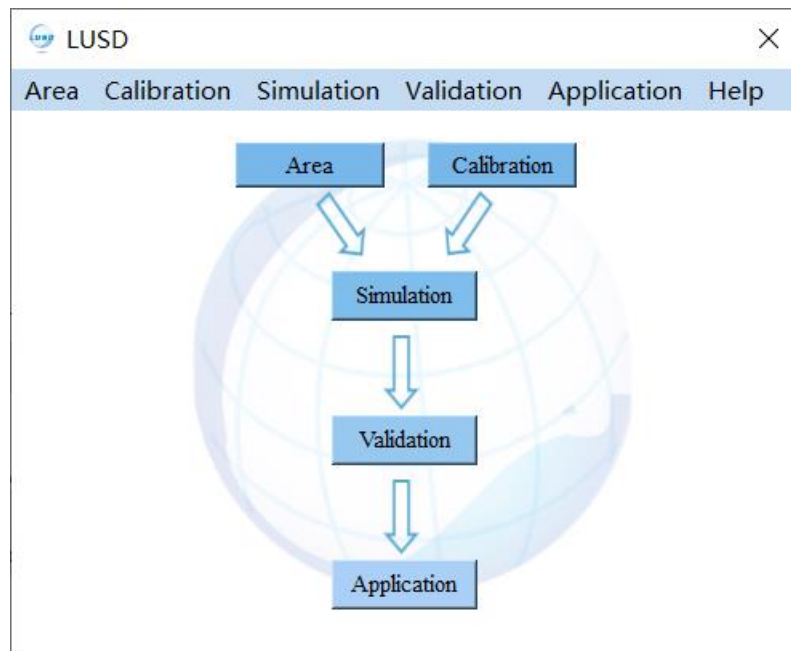
下载地址：

## 3 模型启动

双击模型快捷方式 [LUSD](#) LUSD.exe 启动模型。

### 3.1 模型界面

LUSD (v1.0) 模型主界面如下：

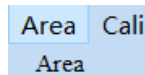


主界面主要包括：主菜单和主界面。

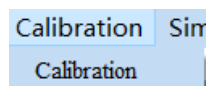
### 3.1.1 主菜单

Area Calibration Simulation Validation Application Help

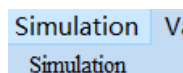
- 1) Area: 主菜单提供了模型的主要功能，点击相应的菜单项可以开启相应操作。模块的使用方法将在 3.3 部分详细说明。



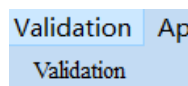
- 2) Calibration: 提供计算各个影响因子权重功能。模块的使用方法将在 3.4 部分详细说明。



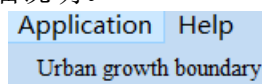
- 3) Simulation: 提供模拟城市扩展功能。模块的使用方法将在 3.5 部分详细说明。



- 4) Validation: 用于计算 kappa 系数、总体精度以验证模型精度。模块的使用方法将在 3.6 部分详细说明。



- 5) Application: 模型应用模块，目前提供划定城市增长边界功能。模块的使用方法将在 3.7 部分详细说明。



- 6) Help:

About: 菜单将弹出新窗体，显示模型的简介、版本更新情况和版权声

明以及作者信息。

Land Use Scenario Dynamics (LUSD) Model  
Version: 1.0  
Published Time: 2020/07/15

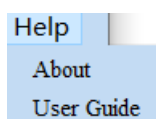
Information:  
Prof. Chunyang He developed the LUSD model. Xinhao Pan and Dr. Zhifeng Liu were responsible for the software development.

Citations:  
1. 何春阳, 史培军, 陈晋, 李晓兵, 潘耀忠, 李京, 李月臣, 李景刚. 2005, 基于系统动力学模型和元胞自动机模型的土地利用情景模拟研究, 中国科学, (D 辑), 35(5): .464-473. 英文版: Chunyang He, Peijun Shi, Jin Chen, Xiaobing LiYaozhong Pan, Jing Li, Yuechen Li & Jinggang Li. 2005, Developing land use scenario dynamics model by the integration of system dynamics model and cellular automata model. Science in China. Series D, 48(11), 1979-1989.  
2. Chunyang He, Norio Okada, Qiaofeng Zhang Peijun Shi, Jingshui Zhang. 2006, Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. Applied Geography, 26, 323-345.

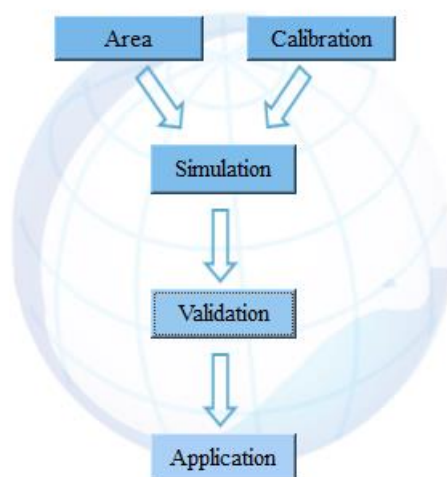
The Urban Growth Boundary module was developed according to: Xun Liang, Xiaoping Liu, Xia Li, Yimin Chen, He Tian, Yao Yao. 2018, Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method. Landscape and Urban Planning,177,47-63.

If you have any ideas, suggestions, comments, criticisms or questions, please contact Xinhao Pan by the following e-mail address: pan\_xinhao@163.com

User Guide:打开 LUSD 模型用户手册。



### 3.1.2 主界面



包括 5 个按钮，功能与主菜单中对应模块功能一致。

## 3.2 示例数据介绍

在目录下的 testdata 文件夹中，能找到用于模拟延吉市 2015-2050 年的城市扩展过程的示例数据，用于模型的操作与运行演示。

### 3.2.1 数据说明

类型	文件名	数据说明	用途
土地利用数据	lulc2000.tiff	延吉市 2000 年土地利用分类数据	确定城市扩展适宜性因素权重计算时，初始年份土地利用数据
	lulc2010.tiff	延吉市 2010 年土地利用分类数据	确定城市扩展适宜性因素权重计算时，终止年份土地利用数据
	lulc2015.tiff	延吉市 2015 年土地利用分类数据	模拟未来延吉市城市扩展的初始数据
	simulation2015.tif	预测的延吉市 2015 年城市扩展结果	用于与真实的 2015 年延吉市土地利用数据作比较，并验证模型精度
城市增长边界	boundary.tif	计算的延吉市 2015 年城市增长边界。1 为城市，0 为非城市。	
城市扩展适宜性相关数据	dem.tiff	高程数据	用于计算各个像元适宜性
	city.tiff	各个像元距离城市中心距离数据	
	road1.tiff	各个像元距离国道、省道距离数据	
	road2.tiff	各个像元距离县道、乡道距离数据	
	railroad.tiff	各个像元距离铁路距离数据	
	slope.tiff	坡度数据	
未来城市面积计算数据	calculation.xlsx	延吉市 1992、2000、2010、2015 年城市土地像元数量和城市人口数量（万人）	用于建立城市像元数量与人口数量的线性方程
	prediction.xlsx	预测得到的延吉市 2030、2040、2050 年城市人口数量（万人）	用于根据预测的未来人口数量确定未来城市像元数
土地利用类型继承性数据	Inheritance.xlsx	土地利用类型的继承性	用于快速导入土地利用类型的继承性

### 3.2.2 数据要求

- 1) 模型所需的输入数据投影、像元大小和行列数需要保持一致。
- 2) 高程、坡度、距离城市中心的距离、距离国道的距离、距离县道的距离以及距离铁路的距离需要进行**反向标准化**处理（整型数据，数据范围[0.100]）。
- 3) 本案例不同土地利用类型的继承性如下（继承性越大表示该类被转为城市的可能性越小，用户可调整各地类继承性）：


像元值	土地利用类型	继承性
1	农业用地	2
2	林地	20
3	草地	10
4	湿地	10
5	城市用地	100
6	未利用土地	5
7	水体	50

案例数据旨在引导模型使用者了解模型的基本操作过程。在实际城市扩展模拟过程中，可以考虑更多的因素的影响。比如：在计算未来土地需求时，可以考虑人口、GDP、政策和技术等因素；在模拟土地扩展空间过程时，可以考虑高程、坡度等区位因素，温度、降水等气象因素，距离城市中心、河流，和距离国道、省道、高速公路、铁路等各级道路的距离因素；以及其它强制性限制因素（例如：生态保护区，城市增长边界等）。

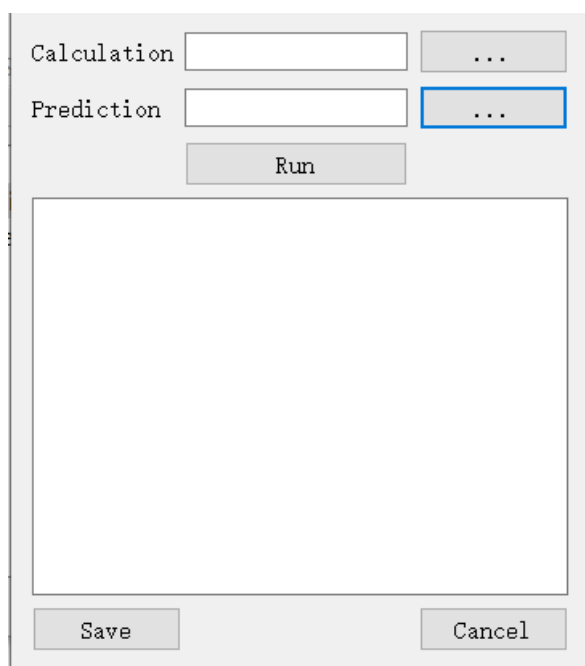
## 3.3 Area 模块介绍

使用 **Prediction of urban land area** 模块时，需用户输入两个 EXCEL 表格。用于建立城市面积与其他变量的线性回归方程，并预测未来的城市土地需求量。


### 3.3.1 启动模块

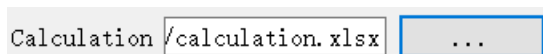
- 1) 选择主菜单的 LUSD → Prediction of urban land area，可以打开 Predicted urban land area 模块操作窗口。
- 2) 右键单击主界面中的  按钮。




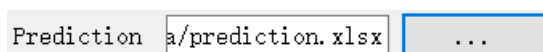


### 3.3.2 输入 Calculation、Prediction 数据

在 Calculation 组合框中输入 Calculation 数据，点击 ，在弹出的对话框中选择数据 “Calculation.xlsx”，点击打开。




在 Prediction 组合框中输入 Prediction 数据，点击 ，在弹出的对话框中选择数据 “Prediction.xlsx”，点击打开。



示例数据中，只进行了一元线性回归，用户可根据自己的需求在右侧增加列，进行多元线性回归。用户在修改表格时请注意：

- 1) 示例数据中的名称为 “Year” 的列仅表示年份，不参与计算，有无此列不影响模拟过程。如果用户需要利用年份进行回归，可以在名称为 “Urban Pixels” 的列右侧添加一列输入年份。
- 2) Calculation 表格中，名称为 “Urban Pixels” 的列对应线性回归方程中的因变量城市土地面积，不可以修改该列的名称。
- 3) 两个表格中的用于表示自变量列顺序需要一致。
- 4) 所有列的行数保持一致。
- 5) 所有内容必须写在 EXCEL 文件中 “Sheet1” 表格内。

### 3.3.3 运行 Area 模块

完成以上输入后，单击  按钮，开始建立线性回归方程和预测未来城市土地需求量。

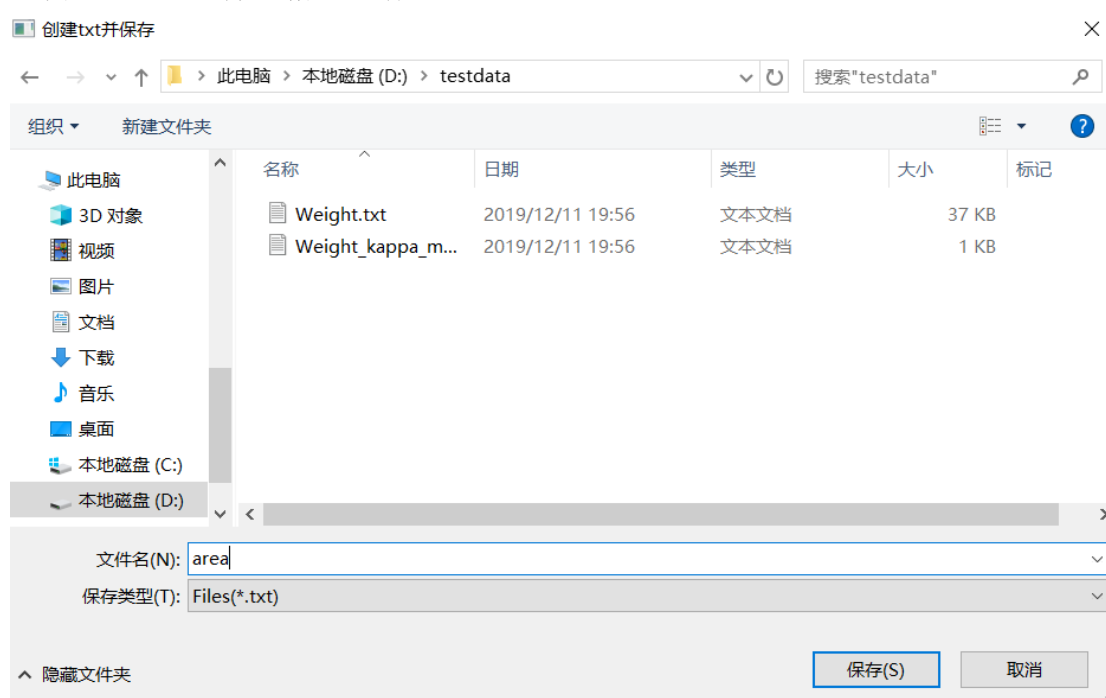
完成计算后，输出线性回归方程的  $R^2$ 、线性回归方程的常数项和各自变量系数分别对应文本输出框中 “ $R^2$ ”、“interception” 和 “coefficient” 后的数值。

预测的城市土地需求量为“Predicted urban land area”后的数值。

```
R2:0.9042024323779866  
interception:-93.8418270479184  
coefficient:[15.837567358720284]  
Predicted urban land area : [922, 1078,  
1233]
```

### 3.3.4 保存结果

点击“Save”按钮，可以在弹出的对话框中设置结果的存储路径，将文本框中的内容以 txt 文件的格式保存。



## 3.4 Calibration 模块介绍

在 Calibration 模块，需要用户输入开始年份、结束年份、开始年份土地利用类型及其对应的继承性、模拟组数、步长、随机干扰系数、邻域大小。根据用户输入的距离城市中心点距离、高程等城市扩展适宜性因素计算相应的权重和邻域、土地利用继承性的权重，以及每组模拟结果的精度和 kappa 系数。

### 3.4.1 启动模块

- 1) 选择主菜单 Calibration → Calibration，可以打开 Calibration 模块操作窗口。
- 2) 右键单击主界面中的 **Calibration** 按钮。

Start year  ...

End year  ...

**Set Inheritance**

Groups

Step

Disturb Constant

Neighbourhood size

	Label	Path
1		
2		
3		

**Run**

### 3.4.2 输入开始年份和结束年份

在 Start year data 组合框中输入开始年份土地利用数据，点击 ，在弹出的对话框中选择一期土地利用栅格数据 “lulc2000.tif”，点击“打开”按钮。


在 End year data 组合框中输入结束年份土地利用数据，点击 ，在弹出的对话框中选择一期土地利用栅格数据 “lulc2010.tif”，点击“打开”按钮。

Start year  ...

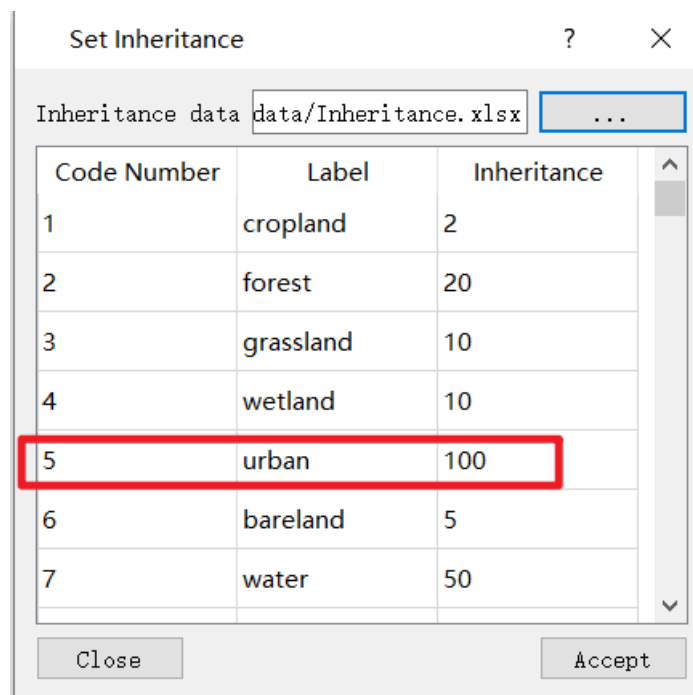
End year  ...

### 3.4.3 输入土地利用类型及其继承性


在完成上一步操作后，点击 **Set Inheritance** 按钮，即可打开 Set Inheritance 窗口。在 Set Inheritance 窗口中，在第一列 Code Number 中输入栅格数据中土地利用类型对应的数值，在第二列 Label 列输入相应的土地利用类型。注意 Label 列中必须包含 “**urban**” 标签，其它地类可随意命名。第三列为相应土地利用类型的继承性。**继承性越大表示该类被转为城市的可能性越小，取值范围在 1-100 之间。**最多可以输入 100 种土地利用类型。输入完成后点击 **Accept** 按钮,完成输入土地利用数据的设置。

用户也可以点击  按钮，在弹出的对话框中，选择示例数据中 Inheritance.xlsx，表格中的数据将自动填入。如果用户根据自己的需求创建 EXCEL 表格，请注意：

- 1) EXCEL 表格的结构必须与 Set Land Use 窗口中表格的结构保持一致。
- 2) EXCEL 表格不需要列标题。
- 3) 确保 EXCEL 表格中有 “urban” 标签。
- 4) 所有列的行数保持一致。
- 5) 所有内容必须写在 EXCEL 文件中 “Sheet1” 表格内。



Set Inheritance

Inheritance data: data/Inheritance.xlsx 

Code Number	Label	Inheritance
1	cropland	2
2	forest	20
3	grassland	10
4	wetland	10
5	urban	100
6	bareland	5
7	water	50

Close Accept

### 3.4.4 设置模型参数

在 Groups 框中，输入需要模拟的权重组数。本案例输入数字 500，表示要模拟 500 组权重。

Groups

在 Step 框中，输入模拟的步长，即每次分配的像元数量。本案例输入数字 100，表示每次模拟时分配 100 个像元。

Step

在 Disturb Constant 框中，输入随机干扰系数。本次案例输入数字 0.01，表示随机干扰系数为 0.01。

Disturb Constant

在 Neighbourhood size 框中，输入邻域大小。本次输入数字 5，表示邻域大小为 5 像元\*5 像元，邻域大小必须为一个奇数。


Neighbourhood size

### 3.4.5 输入城市扩展适宜性因素

第一列为城市扩展适宜性因素的名称，可随意命名。第二列为城市扩展适宜性因素，可以在单元格中直接输入，也可以双击第二列相应位置的单元格，在弹出对话框中选中相应的数据点击“打开”按钮，该数据会自动填入单元格中。最多可以输入 100 个城市扩展适宜性因素。


	Label	Path
1	city	D:/testdata/city.tif
2	dem	D:/testdata/dem.tif
3	railroad	D:/testdata/railroad.tif
4	road1	D:/testdata/road1.tif
5	road2	D:/testdata/road2.tif
6	slope	D:/testdata/slope.tif

### 3.4.6 运行 Calibration 模块

完成上面操作后点击  按钮，开始计算城市扩展适宜性因素、邻域、土地利用继承性的权重和每组的精度、kappa 系数，共计算 Groups 框中填入的组数。计算完成后在模块下方的文本输出框中，输出下面的信息。

```
All the results were saved in the weight.txt file under D:/testdata directory. The result with the highest Kappa index was saved in the weight_kappa_max.txt file under the same directory.
```


打开对应目录下的“Weight.txt”文件，可以看到每组模拟结果，包括城市扩展适宜性因素的权重、邻域、土地利用继承性的权重和每组权重对应模拟结果的总体精度和 kappa 系数。

 Weight.txt - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

```
city dem railroad road1 road2 slope NeighborhoodEffect Inheritance OverallAccuracy Kappa
19.000 4.000 17.000 2.000 3.000 7.000 24.000 24.000 0.987 0.791
11.000 20.000 23.000 6.000 3.000 1.000 29.000 7.000 0.987 0.789
1.000 1.000 3.000 24.000 34.000 7.000 1.000 29.000 0.981 0.689
```

打开对应目录下的“Weight\_kappa\_max.txt”文件，可以看到 kappa 系数最大的模拟结果（可能存在多组最大 kappa 系数相同的结果），包括城市扩展适宜性因素的权重、邻域影响的权重、土地利用继承性的权重和每组权重对应模拟结果的总体精度和 kappa 系数。

 Weight\_kappa\_max.txt - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

```
city dem railroad road1 road2 slope NeighborhoodEffect Inheritance OverallAccuracy Kappa
5.000 5.000 9.000 29.000 1.000 26.000 21.000 4.000 0.988 0.806
```

### 3.5 Simulation 模块介绍

在 Calibration 模块，需要用户输入开始年份、开始年份土地利用类型继承性、预测年份的城市土地需求量等。根据用户输入的距离城市中心点距离、DEM 等城市扩展适宜性因素和他们的权重，计算非城市用地的各个像元转换为城市用地概率的大小，并根据用户输入预测年份的城市像元数量，将相应的非城市用地转换为城市用地。结果将保存在用户指定的文件中。

#### 3.5.1 启动模块

- 1) 选择主菜单 Simulation → Simulation，可以打开 Simulation 模块操作窗口。
- 2) 右键单击主界面中的 **Simulation** 按钮。

Start year

...

Set Inheritance

Num of urban pixels

Step

Disturb constant

Neighbourhood size

	Label	Path	Weight
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

\*Restricted Data

...

Probability

...

Result path

...

Start

Close

#### 3.5.2 输入开始年份


在 Start year data 组合框中输入开始年份的土地利用数据，点击 ，在弹出的对话框中选择一期土地利用栅格数据“lulc2015.tif”，点击“打开”按钮。

Start year

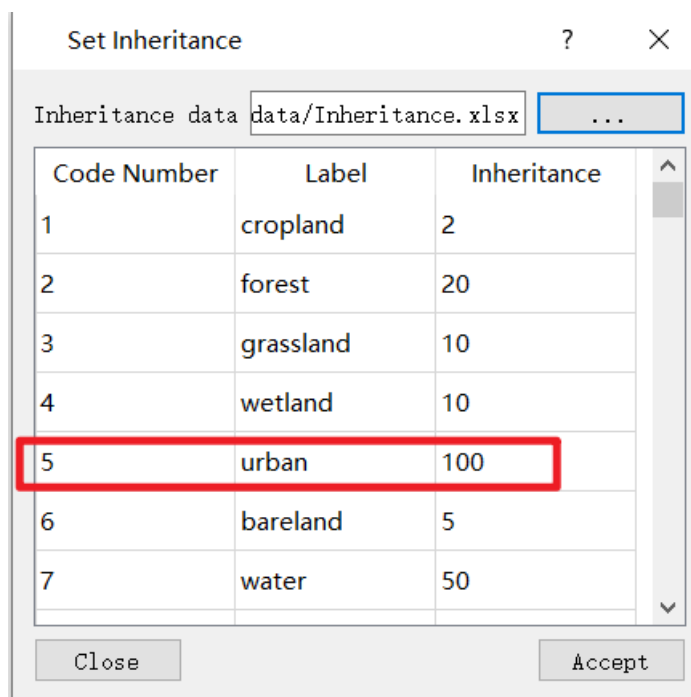
...

### 3.5.3 输入土地利用类型及其继承性


在完成上一步操作后，点击 **Set Inheritance** 按钮，即可打开 Set Inheritance 窗口。在 Set Inheritance 窗口中，在第一列 Code Number 中输入栅格数据中土地利用类型对应的数值，在第二列 Label 列输入相应的土地利用类型。注意 Label 列中必须包含“**urban**”标签，其它地类可随意命名。第三列为相应土地利用类型的继承性。**继承性越大表示该类被转为城市的可能性越小，取值范围在 1-100 之间**。最多可以输入 100 种土地利用类型。输入完成后点击 **Accept** 按钮,完成输入土地利用数据的设置。

用户也可以点击  按钮，在弹出的对话框中，选择示例数据中 Inheritance.xlsx，表格中的数据将自动填入。如果用户根据自己的需求创建 EXCEL 表格，请注意：

- 6) EXCEL 表格的结构必须与 Set Land Use 窗口中表格的结构保持一致。
- 7) EXCEL 表格不需要列标题。
- 8) 确保 EXCEL 表格中有“**urban**”标签。
- 9) 所有列的行数保持一致。
- 10) 所有内容必须写在 EXCEL 文件中“Sheet1”表格内。



Set Inheritance

Inheritance data: data/Inheritance.xlsx 

Code Number	Label	Inheritance
1	cropland	2
2	forest	20
3	grassland	10
4	wetland	10
5	urban	100
6	bareland	5
7	water	50

Close Accept

### 3.5.4 设置模型参数

在 Predicted urban land area 框中，输入城市土地需求量。本案例输入 1273，表示模拟目标的城市土地像元数量为 1273。



Num of urban pixels 1273

在 Step 框中，输入模拟的步长，即每次分配的像元数量。本案例输入数字 100，表示每次模拟时分配 100 个像元。

Step 100

在 Disturb Constant 框中，输入随机干扰系数。本次案例输入数字 0.01，表示随机干扰系数为 0.01。

Disturb Constant 0.01

在 Neighbourhood size 框中，输入邻域大小。本次输入数字 5，表示邻域大小为 5 像元\*5 像元，邻域大小必须为一个奇数。

Neighbourhood size 5

### 3.5.5 输入城市扩展适宜性因素

第一列为城市扩展适宜性因素的名称，可随意命名。第二列为城市扩展适宜性因素，可以在单元格中直接输入，也可以双击第二列相应位置的单元格，在弹出对话框中选中相应的数据点击“打开”按钮，该数据会自动填入单元格中。第三列为城市扩展适宜性因素的权重，倒数第二行需输入邻域的权重，最后一行需输入土地利用类型的权重。最多可以输入 100 个城市扩展适宜性因素。

	Label	Path	Weight
1	city	D:/testdata/city.tif	5
2	dem	D:/testdata/dem.tif	5
3	railroad	D:/testdata/railroad.tif	9
4	road1	D:/testdata/road1.tif	29
5	road2	D:/testdata/road2.tif	1
6	slope	D:/testdata/slope.tif	26
7	NeighborhoodEffect		21
8	Inheritance		4

### 3.5.6 输入限制图层（可选）

在 Restricted Data 组合框中输入城市扩展的强制性限制因素，点击


... 按钮，在弹出的对话框中选中相应的数据，点击“打开”按钮。

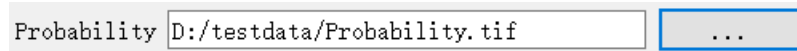
\*Restricted Data D:/testdata/Constraint.tif ...

城市扩展的强制性限制因素是只包含 0 和 1 值的栅格数据。像元值为 0 的区域为洪泛区、水源保护区等强制性生态保护区和基本农田保护区、城市规划红线区、地质灾害多发区等城市扩展强制性政策限制区，它们在城市扩展中将得到有效保护，不会被城市扩展所占用。




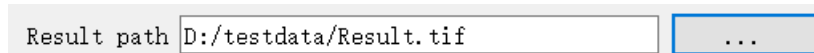
### 3.5.7 输入结果保存路径

运行结果包括土地利用状态为非城市的像元在某一时刻转化为城市像元的概率组成的图层，在“Probability”组合框中点击  按钮，在弹出对话框中，选择输出目录和输入文件名称。




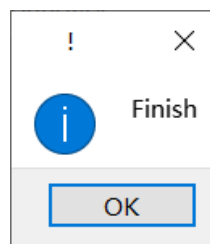
在一个模拟周期内每一次循环过程中，首先选出模拟区域内具有转化城市的概率最高的像元，将其转化为城市。然后再次循环，直到该模拟周期内的城市需求总量得到满足为止。

在“Result path”组合框中点击  按钮，在弹出对话框中，选择模拟结果的输出目录和输出文件名称。



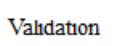
### 3.5.8 运行 Simulation

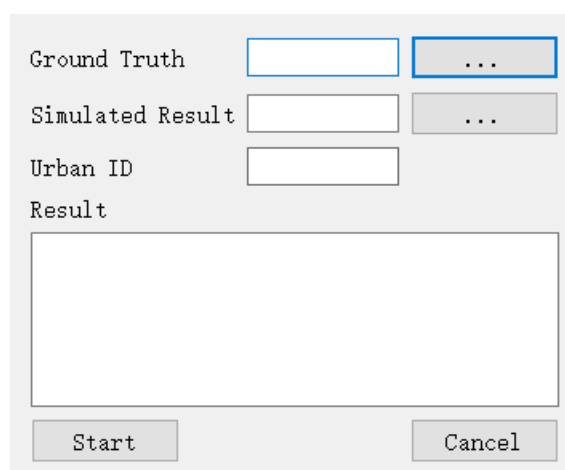
完成上面操作后点击  按钮，开始计算转换概率和模拟结果。运行结果后，弹出提示框。运行结果将保存在用户指定的目录下。




## 3.6 Validation 模块介绍


### 3.6.1 启动模块



- 1) 选择主菜单 Validation → Validation, 可以打开 Validation 模块操作窗口。
- 2) 右键单击主界面中的  按钮。



### 3.6.2 输入真实数据和模拟结果

在 Ground Truth 组合框中输入 2015 年的真实数据，点击 ，在弹出的对话框中选择一期土地利用栅格数据 “lulc2015.tif”，点击 “打开” 按钮。

在 Simulated Result 组合框中输入 2015 年的预测结果，点击 ，在弹出的对话框中选择预测结果 “simulation2015.tif”，点击 “打开” 按钮。

Ground Truth	<input type="text" value="D:/testdata/lulc2015.tif"/>	
Simulated Result	<input type="text" value="D:/testdata/simulation2015.tif"/>	

### 3.6.3 输入城市对应值

在 Urban ID 组合框中输入土地利用栅格数据中城市对应的值。

Urban ID	<input type="text" value="5"/>
----------	--------------------------------

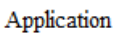
### 3.6.4 运行 Validation

完成上述操作后点击 “Start” 按钮，开始计算 kappa 系数和总体精度，运算结果将显示在模块下方的文本输出框中。

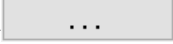
```
kappa = 0.893786530720255
OverallAccuracy = 0.992352016762703
```


## 3.7 Application 模块介绍

### 3.7.1 启动模块

- 1) 选择主菜单 Application → Urban growth boundary, 可以打开 Application 模块操作窗口。
- 2) 右键单击主界面中的  按钮。

### 3.7.2 输入模拟结果

在 Simulation result 组合框中输入 2015 年的模拟结果，点击 ，在弹出的对话框中选择一期土地利用栅格数据 “sumulation2015.tif”，点击 “打开” 按钮。

Simulation result	<input type="text" value="/simulation2015.tif"/>	
-------------------	--	---

### 3.7.3 输入城市对应值

在 Urban ID 组合框中输入土地利用栅格数据中城市对应的值。


Urban ID	<input type="text" value="5"/>
----------	--------------------------------

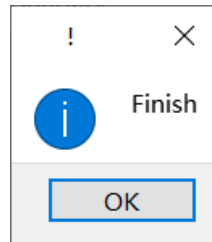
### 3.7.4 输入结果保存路径

在“Result path”组合框中点击  按钮，在弹出对话框中，选择模拟结果的输出目录和输出文件名称。



### 3.7.5 运行 Simulation

完成上面操作后点击  按钮，开始计算城市增长边界。运行结果后，弹出提示框。运行结果将保存在用户指定的目录下。



## 4 模型操作注意事项

- 1) 输入的城市扩展适宜性因素必须标准化为整型数据，数据范围[0,100]。
- 2) 输入土地利用类型及其继承性时，**Label 列中必须有“urban”标签**。
- 3) **Simulation** 模块中，输入城市扩展适宜性因素后，必须在第三列倒数第二行需输入邻域的权重，最后一行需输入土地利用类型的权重。

## 5 附录：模型原理

现有土地利用状态为  $K$  的单元  $(x,y)$  在时刻  $t$  转化为城市单元的概率  ${}^tP_{x,y}$  可以看成是单元  $(x,y)$  在时刻  $t$  受城市扩展动力因素  ${}^tD_{x,y}$ ，阻力因素  ${}^tZ_{x,y}$  和随机干扰因素  ${}^tV_{x,y}$  综合影响的结果，可以表示为：

$${}^tP_{x,y} = f({}^tD_{x,y}, {}^tZ_{x,y}, {}^tV_{x,y}) \quad (1)$$

城市扩展动力因素  ${}^tD_{x,y}$  可以看作是单元  $(x,y)$  在时刻  $t$  对城市单元的适宜性  ${}^tS_{x,y}$  和周围城市单元对单元  $(x,y)$  在时刻  $t$  转化为城市单元的影响  ${}^tN_{x,y}$  综合影响的结果，表示为：

$${}^tD_{x,y} = f({}^tS_{x,y}, {}^tN_{x,y}) \quad (2)$$

城市扩展的阻力因素  ${}^tR_{x,y}$  可以看作是单元  $(x,y)$  在时刻  $t$  保持为现有土地利用状态  $K$  的继承性  ${}^tI_{K,x,y}$ ，强制性生态约束因素  ${}^tEC_{x,y}$  和规划政策约束因素  ${}^tG_{x,y}$  综合影响的结果，表示为：

$${}^tR_{x,y} = f({}^tI_{K,x,y}, {}^tEC_{x,y}, {}^tPC_{x,y}) \quad (3)$$

城市扩展中随机干扰因素  ${}^tV_{x,y}$ ，可以表示为：

$${}^tV_{x,y} = 1 + [-\ln(rand)]^a \quad (4)$$

式中， $rand$  是 0 到 1 之间的一个随机数， $a$  是一个表示干扰程度大小的常数。

为了简化计算，现有土地利用状态为  $K$  的单元  $(x,y)$  在时刻  $t$  转化为城市单元的概率  ${}^tP_{K,x,y}$  可表示为：

$${}^tP_{K,x,y} = \left( \sum_{i=1}^{m-2} {}^tW_i \times {}^tS_{i,x,y} + W_{m-1} \times {}^tN_{x,y} - W_m \times {}^tI_{K,x,y} \right) \times \prod_{r=1} {}^tEC_{r,x,y} \times \prod_{l=1} {}^tPC_{l,x,y} \times {}^tV_{x,y} \quad (5)$$

式中， $\sum_{i=1}^{m-2} {}^tW_i \times {}^tS_{i,x,y}$  表示单元  $(x,y)$  在时刻  $t$  转化为城市单元的适宜

性。 ${}^tS_{i,x,y}$  表示城市扩展适宜性因素  $i$  ( $1, \dots, m-2$ )，它被标准化到 0 到 100 之间， $W_i$  表示因素  $i$  的权重。 ${}^tN_{x,y}$  表示邻域空间的影响， $W_{i-1}$  是它的权重。 ${}^tI_{K,x,y}$  是单元  $(x, y)$  在时刻  $t$  保持其原有土地利用状态的继承性， $W_m$  是它的权重。权重 ( $W_1, W_2, \dots, W_{m-1}, W_m$ ) 反映了上述因素对城市扩展过程的影响程度。

$\prod_{r=1}^n {}^tEC_{r,x,y}$  是一系列二值变量的乘积，表示对城市扩展的强制性生态限制

因素，如果  $EC_{r,x,y} = 0$ ，则单元  $(x,y)$  可能是河流洪泛区、水源保护区等强制性生态保护区，它们在城市扩展中将得到有效保护，不会被城市扩展所占用。

$\prod_{l=1}^m {}^lG_{l,x,y}$  也是一系列二值变量的乘积，表示对城市扩展的强制性规划政策限制

因素，如果  ${}^lG_{l,x,y} = 0$ ，则单元(x,y)可能是基本农田保护区、城市规划红线区、地质灾害多发区等城市扩展强制性政策限制区，它们由于种种原因受规划政策控制，也不能被城市扩展所占用。

周围城市单元对单元 (x,y) 在时刻  $t$  转化为城市单元的影响  ${}^tN_{x,y}$  可以表示为：

$${}^tN_{x,y} = A \times \sum_c {}^tW_c \times {}^tG_c = A \times \sum_c \frac{{}^tG_c}{C^K} \quad (6)$$

式中， ${}^tW_c$  表示邻域内在距离  $C$  处的城市单元对单元 (x,y) 在时刻  $t$  转化为城市单元的影响权重。假定单元之间距离越近， ${}^tW_c$  影响越大，则  ${}^tW_c$  可以表示为  $K$  次幂函数的倒数  $\frac{1}{C^K}$ ， $K=1, 2, 3, \dots$ 。 ${}^tG_c$  是一个二值变量，如果在

距离  $C$  处的土地利用单元类型为城镇用地，则  ${}^tG_c=1$ ，否则  ${}^tG_c=0$ 。 $A$  是一个标量，用来把  ${}^tN_{x,y}$  标准化在 0 到 100 之间。

为简化计算，单元 (x,y) 在时刻  $t$  保持为土地利用类型  $K$  的惯性（继承性） ${}^tI_{IK}$  可以依据各种土地利用类型惯性强弱的大小，定义为 0 到 100 之间的一个常量，值越大说明其保持为原有土地利用类型的惯性越强。

利用现有土地利用状态为  $K$  的单元 (x,y) 在时刻  $t$  转化为城镇用地单元的概率  ${}^tP_{K,x,y}$ ，就可以依据概率的高低对土地单元进行分配。

具体的，依据各种情景下的城镇用地宏观需求，采用以年为模拟周期，进行城镇用地的空间扩展模拟。在一个模拟周期内每一次循环中，首先选出模拟区域内具有转化城镇用地的最高概率的单元，将其转化为城镇用地。然后再次循环，重新选出模拟区域内具有转化为城镇用地的最高概率的单元，将其转化为城镇用地，直到该模拟周期内的城镇土地需求总量得到满足为止。

同时，在模拟过程中，通过对强制性生态约束因素  ${}^tEC_{x,y}$  和规划政策约束因素  ${}^tG_{x,y}$  等的不同选择和设置，还可以在城市扩展用地情景总量情景约束下进一步设置不同规划政策和生态安全考虑下的城市扩展空间情景格局。