



(12) 发明专利申请

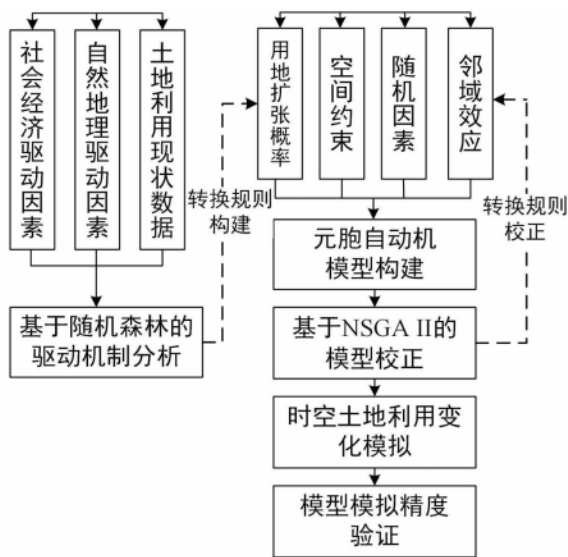
(10) 申请公布号 CN 114818517 A  
(43) 申请公布日 2022. 07. 29

(21) 申请号 202210737915.5  
(22) 申请日 2022.06.28  
(71) 申请人 南京北斗创新应用科技研究院有限公司  
地址 211599 江苏省南京市六合区龙池街道虎跃东路8号  
(72) 发明人 杜志强 李柏延 王超 李沐春 王伟  
(74) 专利代理机构 南京佰腾智信知识产权代理有限公司 (普通合伙) 32509  
专利代理师 胡杰  
(51) Int. Cl.  
G06F 30/27 (2020.01)  
G06N 3/00 (2006.01)  
G06F 111/10 (2020.01)

权利要求书3页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称  
一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法

(57) 摘要  
本发明公开了一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,涉及土地利用变化模拟应用技术领域,能够解决利用NSGA-II算法,自动校正元胞自动机转换规则,提高土地利用变化模拟模型的可靠性和拓展性,经模拟研究,本发明围绕元胞自动机转换规则的邻域过渡势,利用NSGA-II在高斯函数的基础上进行拟合,克服了传统方法需要采用富集指数描述邻域效应,忽视用地间作用力受距离因素的影响,提高了土地利用变化模拟模型的可靠性和拓展性,本发明建立的自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,对于模拟长时序的土地利用演变特征,促进区域资源合理利用和生态可持续发展都具有重要作用。



1. 一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1、根据研究区域的土地利用时空演变特征,选择研究区域的土地利用变化驱动因素和两期土地利用现状数据,构建土地利用变化模拟研究数据集;

S2、基于两期土地利用现状数据,计算土地利用变化数据,将土地利用变化数据和土地利用变化驱动因素输入随机森林,获取各地类的扩张概率,初步构建元胞自动机转换规则;

S3、采用NSGA-II算法,校正元胞自动机转换规则的邻域过渡势参数;

S4、建立基于NSGA-II的土地利用演化自校正元胞自动机模型;

S5、通过基于NSGA-II的土地利用演化自校正元胞自动机模型,模拟时空土地利用演化,并验证该模型的模拟精度。

2. 根据权利要求1所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,其特征在于:所述步骤S1中,土地利用变化模拟研究数据集的构建方法包括以下步骤:

S1.1、对土地利用现状栅格数据、道路矢量数据以及驱动因素栅格数据进行投影坐标系转换,使得上述三种数据的空间参考以及分辨率保持一致;

S1.2、使用欧式距离对道路矢量数据进行可达性计算,得到栅格格式的道路可达性数据驱动因素;

S1.3、对所有的道路可达性数据驱动因素进行归一化处理。

3. 根据权利要求1所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,其特征在于:所述步骤S2中,土地利用变化数据的计算方法包括以下步骤:

S2.1、基于两期土地利用现状数据叠加,得到土地利用变化数据;

S2.2、对土地利用变化数据和土地利用变化驱动因素进行随机采样,采样点的多种驱动因素数据为自变量,土地利用是否发生变化为因变量,土地利用发生变化的点记作1,土地利用未发生变化的点记作0;

S2.3、利用随机森林挖掘多种土地利用变化驱动因素影响下各地类的扩张概率;

S2.4、以各地类的扩张概率、邻域效应以及随机因素的影响为依据,构建元胞自动机转换规则,其计算公式为:

$$TP_{i,j} = P_{i,j} \cdot N_{i,j} \cdot Z_{i,j} \cdot \gamma$$

式中, $TP_{i,j}$ 表示元胞用地类型*i*向用地类型*j*转换的概率; $P_{i,j}$ 表示通过步骤S3.3计算所得的用地类型为*j*的扩张概率; $N_{i,j}$ 表示用地类型为*i*的邻域过渡势; $Z_{i,j}$ 表示空间约束; $\gamma$ 表示随机因素;

$N_{i,j}$ 表示用地类型为*i*的邻域过渡势,其计算公式为:

$$N_{i,j} = \sum_{i' \in D(i)} w_{j,K(i'),d(i,i')}$$

式中, $N_{i,j}$ 表示元胞*i*从当前用地类型向用地类型*j*转换的邻域过渡势; $D(i)$ 表示以*i*为核心的空间邻域内所有细胞的集合; $K(i')$ 表示返回空间邻域内任一元胞*i'*的当前土地利用状态; $w_{j,K(i'),d(i,i')}$ 表示返回空间邻域内任一元胞*i'*的当前土地利用状态*K(i')*对潜在土地利用转换类型*j*的作用力, $d(i,i')$ 表示两个元胞之间的距离;最终,邻域过渡势等于邻域空间中

距离中心元胞为d的其他元胞作用力的总和；

$Z_{i,j}$ 表示空间约束,其计算公式为:

$$Z_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{地理限制区域} \\ 1, & \text{其他} \end{cases}$$

式中, $Z_{i,j}$ 表示空间约束,为用地状态是否可以发生转换的限制因素。

4. 根据权利要求1所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,其特征在于:所述步骤S3中,元胞自动机转换规则的邻域过渡势参数的校正方法包括以下步骤:

S3.1、确定元胞自动机转换规则校正的决策变量,用于校正元胞自动机转换规则中邻域过渡势;基于步骤S2,假设用地类型对潜在土地利用转换类型j的作用力,与两个元胞之间的距离 $d(i,i')$ 满足高斯函数,其计算公式为:

$$W_{j,K(i'),d(i,i')} = ae^{-\frac{(d(i,i')-b)^2}{2c^2}}$$

式中,a、b、c表示需要在NSGA-II中校正的决策变量;

S3.2、确定目标函数,用于评估校正结果的好坏;构建基于Kappa和FoM指数作为NSGA-II的目标函数;

S3.3、基于NSGA-II算法随机生成初始种群S,包含N个个体,即种群规模为N,每个个体为决策向量,并计算个体适应度;

S3.4、产生新种群;

S3.5、反复执行步骤S3.4,直到满足算法终止条件,选择适应度在-50至50范围内的个体作为元胞自动机邻域过渡势校正的最终解。

5. 根据权利要求1所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,其特征在于:所述步骤S4中基于NSGA-II的土地利用演化自校正元胞自动机模型,是采用步骤S3校正后的转换规则相关参数带入元胞自动机模型,然后进行土地利用变化模拟和迭代得到的,最大迭代次数设置为500次,步骤S4中基于NSGA-II的自校正元胞自动机模型的用地转换总体概率,其计算公式为:

$$TP_{i,j} = P_{i,j} \cdot \sum_{i' \in D(i)} ae^{-\frac{(d(i,i')-b)^2}{2c^2}} \cdot Z_{i,j} \cdot \gamma$$

式中, $TP_{i,j}$ 表示基于NSGA-II的自校正元胞自动机模型的用地转换总体概率。

6. 根据权利要求1所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,其特征在于:所述步骤S5包括以下步骤:

S5.1、使用总体精度OA、FoM以及Kappa指标,评估基于NSGA-II算法的自校正元胞自动机模型的土地利用变化模拟结果;

S5.2、在地理信息软件环境下输出并保存模拟结果。

7. 根据权利要求4所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,其特征在于:所述步骤S3.4中,产生新种群的方法包括以下步骤:

S3.4.1、从当前种群中选择M个个体;

- S3.4.2、对被选择的M个个体的决策向量进行交叉；
- S3.4.3、对交叉后的个体进行变异操作，用于决策向量中的元素发生突变；
- S3.4.4、计算新生成个体的适应度；
- S3.4.5、从当前种群的优秀父代个体和子代个体中，挑选适应度在-50至50范围内的个体产生新的种群。

## 一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及土地利用变化模拟应用技术领域,特别是涉及一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法。

### 背景技术

[0002] 土地利用/覆盖变化(Land-Use/Cover Change,LUCC)是人类活动从局域、城镇乃至全球不同时空尺度上,对土地利用施加影响的显著表征形式,是全球环境变化和可持续发展研究不可分割的一部分,近几十年来,伴随着人类活动的加剧,土地利用格局也在发生着剧烈的变化,城镇化作为土地利用变化最典型的形式之一,带给人类利益的同时,也导致了诸如生态破坏、资源浪费、气候异常以及粮食安全等社会和生态问题,因此,构建土地利用变化模型,模拟城镇化背景下的土地利用演化特征,对可持续发展至关重要,LUCC模型作为土地利用变化空间决策的重要工具,其模拟结果的可解释性和可靠性受到相关学者、从业人员以及决策者的广泛关注。

[0003] 然而,由于土地利用变化具有路径依赖特征,LUCC模型的校正过程非常复杂,此外,现有模型校正方式主要基于专家经验和手动校正,这就导致模型在描述土地利用复杂性方面存在一定的局限性,同时也难以满足空间决策对模拟结果客观性和可重复性等方面提出的要求,近年来,随着土地利用变化耦合模型逐渐增多,基于专家经验或手段校正的方式也越来越难以适用于高精度的LUCC耦合模型框架,因此,开展LUCC模型自动校正的研究也就变的极为必要。

### 发明内容

[0004] 为了解决以上技术问题,本发明提供一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,包括以下步骤:

S1、根据研究区域的土地利用时空演变特征,选择研究区域的土地利用变化驱动因素和两期土地利用现状数据,构建土地利用变化模拟研究数据集;

S2、基于两期土地利用现状数据,计算土地利用变化数据,将土地利用变化数据和土地利用变化驱动因素输入随机森林,获取各地类的扩张概率,初步构建元胞自动机转换规则;

S3、采用NSGA-II算法,校正元胞自动机转换规则的邻域过渡势参数;

S4、建立基于NSGA-II的土地利用演化自校正元胞自动机模型;

S5、通过基于NSGA-II的土地利用演化自校正元胞自动机模型,模拟时空土地利用演化,并验证该模型的模拟精度。

[0005] 本发明进一步限定的技术方案是:

进一步的,步骤S1中,土地利用变化模拟研究数据集的构建方法包括以下步骤:

S1.1、对土地利用现状栅格数据、道路矢量数据以及驱动因素栅格数据进行投影

坐标系转换,使得上述三种数据的空间参考以及分辨率保持一致;

S1.2、使用欧式距离对道路矢量数据进行可达性计算,得到栅格格式的道路可达性数据驱动因素;

S1.3、对所有的道路可达性数据驱动因素进行归一化处理。

[0006] 前所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,步骤S2中,土地利用变化数据的计算方法包括以下步骤:

S2.1、基于两期土地利用现状数据叠加,得到土地利用变化数据;

S2.2、对土地利用变化数据和土地利用变化驱动因素进行随机采样,采样点的多种驱动因素数据为自变量,土地利用是否发生变化为因变量,土地利用发生变化的点记作1,土地利用未发生变化的点记作0;

S2.3、利用随机森林挖掘多种土地利用变化驱动因素影响下各地类的扩张概率;

S2.4、以各地类的扩张概率、邻域效应以及随机因素的影响为依据,构建元胞自动机转换规则,其计算公式为:

$$TP_{i,j} = P_{i,j} \cdot N_{i,j} \cdot Z_{i,j} \cdot \gamma$$

式中, $TP_{i,j}$ 表示元胞用地类型i向用地类型j转换的概率; $P_{i,j}$ 表示通过步骤S3.3计算所得的用地类型为j的扩张概率; $N_{i,j}$ 表示用地类型为i的邻域过渡势; $Z_{i,j}$ 表示空间约束; $\gamma$ 表示随机因素;

$N_{i,j}$ 表示用地类型为i的邻域过渡势,其计算公式为:

$$N_{i,j} = \sum_{i' \in D(i)} w_{j,K(i'),d(i,i')}$$

式中, $N_{i,j}$ 表示元胞i从当前用地类型向用地类型j转换的邻域过渡势; $D(i)$ 表示以i为核心的空间邻域内所有细胞的集合; $K(i')$ 表示返回空间邻域内任一元胞i'的当前土地利用状态; $w_{j,K(i'),d(i,i')}$ 表示返回空间邻域内任一元胞i'的当前土地利用状态 $K(i')$ 对潜在土地利用转换类型j的作用力, $d(i,i')$ 表示两个元胞之间的距离;最终,邻域过渡势等于邻域空间中距离中心元胞为d的其他元胞作用力的总和;

$Z_{i,j}$ 表示空间约束,其计算公式为:

$$Z_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{地理限制区域} \\ 1, & \text{其他} \end{cases}$$

式中, $Z_{i,j}$ 表示空间约束,为用地状态是否可以发生转换的限制因素。

[0007] 前所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,步骤S3中,元胞自动机转换规则的邻域过渡势参数的校正方法包括以下步骤:

S3.1、确定元胞自动机转换规则校正的决策变量,用于校正元胞自动机转换规则中邻域过渡势;基于步骤S2,假设用地类型对潜在土地利用转换类型j的作用力,与两个元胞之间的距离 $d(i,i')$ 满足高斯函数,其计算公式为:

$$w_{j,K(i'),d(i,i')} = ae^{-\frac{(d(i,i')-b)^2}{2c^2}}$$

式中,a、b、c表示需要在NSGA-II中校正的决策变量;

S3.2、确定目标函数,用于评估校正结果的好坏;构建基于Kappa和FoM指数作为NSGA-II的目标函数;

S3.3、基于NSGA-II算法随机生成初始种群S,包含N个个体,即种群规模为N,每个个体为决策向量,并计算个体适应度;

S3.4、产生新种群;

S3.5、反复执行步骤S3.4,直到满足算法终止条件,选择适应度在-50至50范围内的个体作为元胞自动机邻域过渡势校正的最终解。

[0008] 前所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,步骤S4中基于NSGA-II的土地利用演化自校正元胞自动机模型,是采用步骤S3校正后的转换规则相关参数带入元胞自动机模型,然后进行土地利用变化模拟和迭代得到的,最大迭代次数设置为500次,步骤S4中基于NSGA-II的自校正元胞自动机模型的用地转换总体概率,其计算公式为:

$$TP_{i,j} = P_{i,j} \cdot \sum_{i' \in D(i)} ae^{-\frac{(d(i,i')-b)^2}{2c^2}} \cdot Z_{i,j} \cdot \gamma$$

式中, $TP_{i,j}$ 表示基于NSGA-II的自校正元胞自动机模型的用地转换总体概率。

[0009] 前所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,步骤S5包括以下步骤:

S5.1、使用总体精度OA、FoM以及Kappa指标,评估基于NSGA-II算法的自校正元胞自动机模型的土地利用变化模拟结果;

S5.2、在地理信息软件环境下输出并保存模拟结果。

[0010] 前所述的一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,步骤S3.4中,产生新种群的方法包括以下步骤:

S3.4.1、从当前种群中选择M个个体;

S3.4.2、对被选择的M个个体的决策向量进行交叉;

S3.4.3、对交叉后的个体进行变异操作,用于决策向量中的元素发生突变;

S3.4.4、计算新生成个体的适应度;

S3.4.5、从当前种群的优秀父代个体和子代个体中,挑选适应度在-50至50范围内的个体产生新的种群。

[0011] 本发明的有益效果是:

本发明中,能够解决利用NSGA-II算法,自动校正元胞自动机转换规则,提高土地利用变化模拟模型的可靠性和拓展性,经模拟研究,本发明围绕元胞自动机转换规则的邻域过渡势,利用NSGA-II在高斯函数的基础上进行拟合,克服了传统方法需要采用富集指数描述邻域效应,忽视用地间作用力受距离因素的影响,提高了土地利用变化模拟模型的可靠性和拓展性,本发明建立的自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法,对于模拟长时序的土地利用演变特征,促进区域资源合理利用和生态可持续发展都具有重要作用。

## 附图说明

- [0012] 图1为本发明实施例中试验区域2000年、2010年的土地利用现状；  
图2为本发明实施例中试验区域土地利用变化驱动因素数据集；  
图3为本发明的方法框架图；  
图4为本发明的方法步骤流程图。

## 具体实施方式

[0013] 为了便于本领域普通技术人员理解和实施本发明，以利用Google Earth Engine的Landsat数据提取的2000~2010年三峡大坝周围20 km范围的土地利用变化为例，对本发明作进一步的详细描述。

[0014] 本实施例提供一种基于NSGA-II自校正元胞自动机的土地利用变化模拟方法，如图3至4所示，包括以下步骤：

S1、根据研究区域的土地利用时空演变特征，选择研究区域的土地利用变化驱动因素和两期土地利用现状数据，构建土地利用变化模拟研究数据集：对土地利用现状栅格数据、道路矢量数据以及驱动因素栅格数据进行投影坐标系转换，使得上述三种数据的空间参考以及分辨率保持一致；使用欧式距离对道路矢量数据进行可达性计算，得到栅格格式的道路可达性数据驱动因素；对所有的道路可达性数据驱动因素进行归一化处理。

[0015] 如图1至2所示，该步骤得到了2000年和2010年三峡大坝周围20 km范围的土地利用现状数据，以及所有可用土地利用变化驱动因素数据集。

[0016] S2、基于两期土地利用现状数据，构建土地利用变化数据，基于2000年和2010年的两期土地利用现状数据，通过叠置分析，分别获取转换为耕地、林地、草地、水体以及建设用地的区域，得到各用地扩张图；

将土地利用变化数据和土地利用变化驱动因素输入随机森林，获取各地类的扩张概率，初步构建元胞自动机转换规则：在图1所示的区域内，对土地利用变化数据和土地利用变化驱动因素进行随机采样，采样点的多种驱动因素数据为自变量，土地利用是否发生变化为因变量，土地利用发生变化的点记作1，土地利用未发生变化的点记作0；利用随机森林挖掘多种土地利用变化驱动因素影响下各地类的扩张概率；以各地类的扩张概率、邻域效应以及随机因素的影响为依据，构建元胞自动机转换规则，其计算公式为：

$$TP_{i,j} = P_{i,j} \cdot N_{i,j} \cdot Z_{i,j} \cdot \gamma$$

式中， $TP_{i,j}$ 表示元胞用地类型i向用地类型j转换的概率； $P_{i,j}$ 表示通过步骤S3.3计算所得的用地类型为j的扩张概率； $N_{i,j}$ 表示用地类型为i的邻域过渡势； $Z_{i,j}$ 表示空间约束； $\gamma$ 表示随机因素；

$N_{i,j}$ 表示用地类型为i的邻域过渡势，其计算公式为：

$$N_{i,j} = \sum_{i' \in D(i)} w_{j,K(i'),d(i,i')}$$

式中， $N_{i,j}$ 表示元胞i从当前用地类型向用地类型j转换的邻域过渡势； $D(i)$ 表示以i为核心的空间邻域内所有细胞的集合； $K(i')$ 表示返回空间邻域内任一元胞i'的当前土地利



用状态； $W_{j,K(i'),d(i,i')}$ 表示返回空间邻域内任一元胞 $i'$ 的当前土地利用状态 $K(i')$ 对潜在土地利用转换类型 $j$ 的作用力， $d(i,i')$ 表示两个元胞之间的距离；最终，邻域过渡势，即邻域效应，等于邻域空间中距离中心元胞为 $d$ 的其他元胞作用力的总和；

$Z_{i,j}$ 表示空间约束，其计算公式为：

$$Z_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{地理限制区域} \\ 1, & \text{其他} \end{cases}$$

式中， $Z_{i,j}$ 表示空间约束，为用地状态是否可以发生转换的限制因素。

[0017] S3、采用NSGA-II算法，校正元胞自动机转换规则的邻域过渡势参数，确定元胞自动机转换规则校正的决策变量，用于校正元胞自动机转换规则中邻域过渡势；基于步骤S2，假设用地类型对潜在土地利用转换类型 $j$ 的作用力，与两个元胞之间的距离 $d(i,i')$ 满足高斯函数，其计算公式为：

$$W_{j,K(i'),d(i,i')} = ae^{-\frac{(d(i,i')-b)^2}{2c^2}}$$

式中， $a$ 、 $b$ 、 $c$ 表示需要在NSGA-II中校正的决策变量；

用于评估校正结果的好坏；构建基于Kappa和FoM指数作为NSGA-II的目标函数；基于NSGA-II算法随机生成初始种群 $S$ ，包含 $N$ 个个体，即种群规模为 $N$ ，每个个体为决策向量，并计算个体适应度；从当前种群中选择 $M$ 个个体；对被选择的 $M$ 个个体的决策向量进行交叉；对交叉后的个体进行变异操作，用于决策向量中的元素发生突变；计算新生成个体的适应度；从当前种群的优秀父代个体和子代个体中，挑选适应度在-50至50范围内的个体产生新的种群；反复迭代直到满足算法终止条件，即计算资源限制或算法已经收敛且找到最优解，选择适应度在-50至50范围内的个体作为元胞自动机邻域过渡势校正的最终解。

[0018] S4、建立基于NSGA-II的土地利用演化自校正元胞自动机模型：采用步骤S3校正后的转换规则相关参数带入元胞自动机模型，然后进行土地利用变化模拟和迭代得到的，最大迭代次数设置为500次，步骤S4中基于NSGA-II的自校正元胞自动机模型的用地转换总体概率，其计算公式为：

$$TP_{i,j} = P_{i,j} \cdot \sum_{i' \in D(i)} ae^{-\frac{(d(i,i')-b)^2}{2c^2}} \cdot Z_{i,j} \cdot \gamma$$

式中， $TP_{i,j}$ 表示基于NSGA-II的自校正元胞自动机模型的用地转换总体概率。

[0019] S5、通过基于NSGA-II的土地利用演化自校正元胞自动机模型，模拟时空土地利用演化，并验证该模型的模拟精度：使用总体精度OA、FoM以及Kappa指标，评估基于NSGA-II算法的自校正元胞自动机模型的土地利用变化模拟结果；最后，在地理信息软件环境下输出并保存模拟结果。

[0020] 除上述实施例外，本发明还可以有其他实施方式。凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案，均落在本发明要求的保护范围。

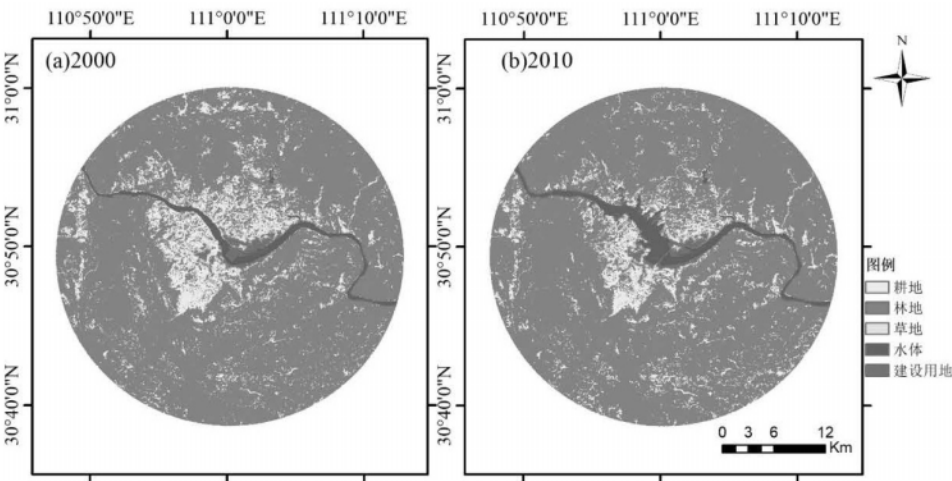


图1

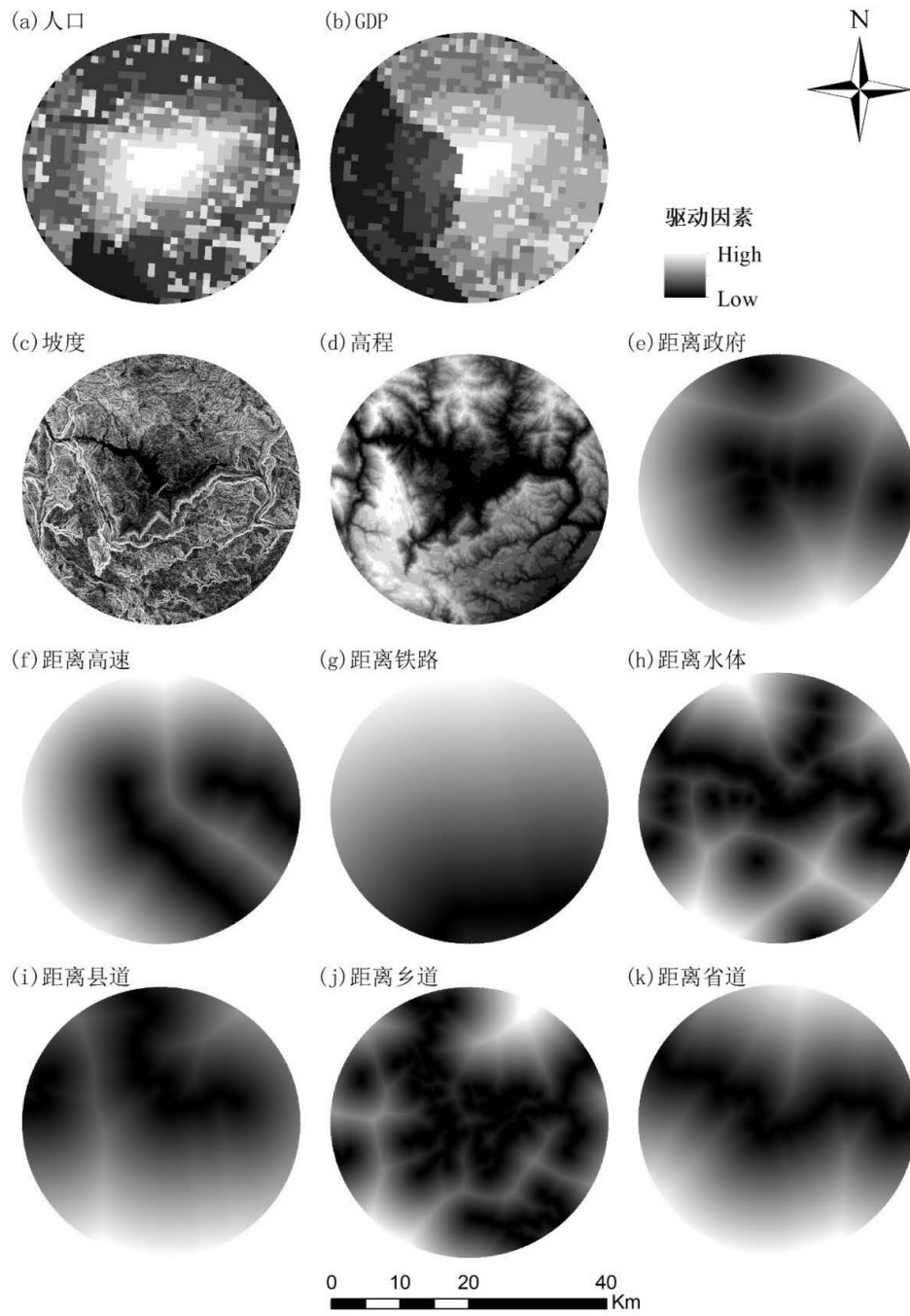


图2

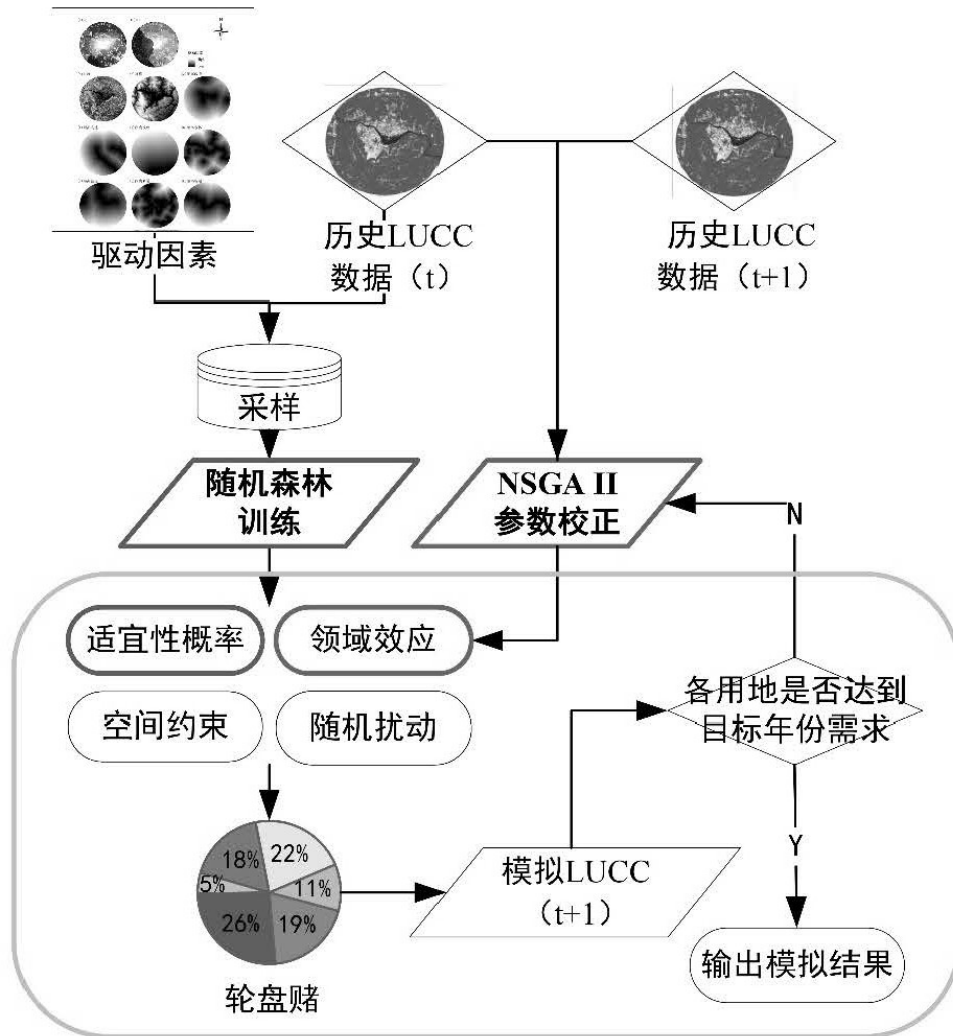


图3

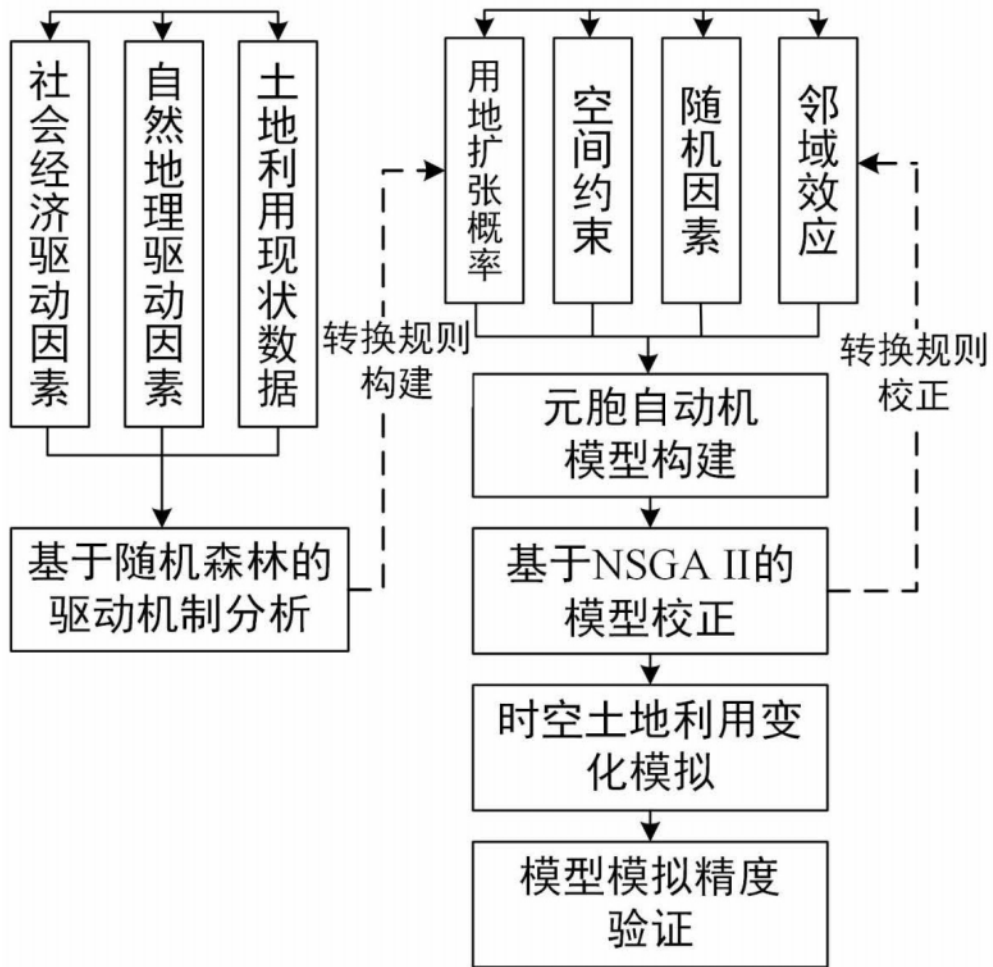


图4