

基于 CA-Markov 的土地利用变化预测

——以陕西省商洛市为例

汇报人 朱家政

地球科学与资源学院
School of Geosciences & Resources

September 9, 2022



目录

1. 引言

2. 研究背景

- 2.1. 研究区概况
- 2.2. 数据来源

3. 研究方法

- 3.1. Markov 模型
- 3.2. 元胞自动机
- 3.3. Terrset 软件
- 3.4. CA-Markov 模型

4. 研究结果与讨论

- 4.1. 研究结果
- 4.2. 模型验证
- 4.3. 不足

5. 参考文献

1. 引言

2. 研究背景

- 2.1. 研究区概况
- 2.2. 数据来源

3. 研究方法

- 3.1. Markov 模型
- 3.2. 元胞自动机
- 3.3. Terrset 软件
- 3.4. CA-Markov 模型

4. 研究结果与讨论

- 4.1. 研究结果
- 4.2. 模型验证
- 4.3. 不足

5. 参考文献

test^[1]。

1. 引言

2. 研究背景

2.1. 研究区概况

2.2. 数据来源

3. 研究方法

3.1. Markov 模型

3.2. 元胞自动机

3.3. Terrset 软件

3.4. CA-Markov 模型

4. 研究结果与讨论

4.1. 研究结果

4.2. 模型验证

4.3. 不足

5. 参考文献

研究背景

研究区概况

°C 如图2.1所示。

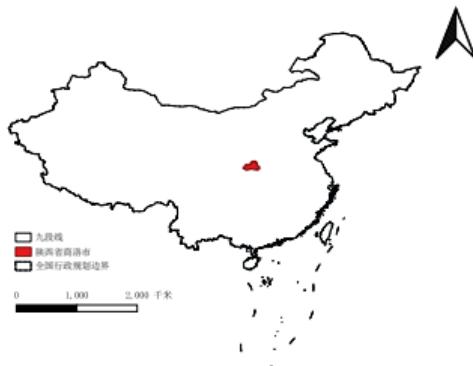


图 2.1: 陕西省商洛市位置

级类型，分别是：耕地、林地、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地、冰川和永久积雪。分类系统定义见表2.1。

表 2.1: GlobeLand30 分类系统

类型	内容	代码
耕地	用于种植农作物的土地，包括水田、灌溉旱地、雨养旱地、菜地、牧草种植地、大棚用地、以种植农作物为主间有果树及其他经济乔木的土地，以及茶园、咖啡园等灌木类经济作物种植地。	1
林地	乔木覆盖且树冠度超过 30% 的土地，包括落叶阔叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、常绿针叶林、混交林，以及树冠度为 10-30% 的疏林地。	2
草地	天然草本植被覆盖，且盖度大于 10% 的土地，包括草原、草甸、稀树草原、荒漠草原，以及城市人工草地等。	3
灌木地	灌木覆盖且灌丛覆盖度高于 30% 的土地，包括山地灌丛、落叶和常绿灌丛，以及荒漠地区覆盖度高于 10% 的荒漠灌丛。	4
湿地	位于陆地和水域的交界带，有浅层积水或土壤过湿的土地，多生长有沼生或湿生植物。包括内陆沼泽、湖泊沼泽、河流洪泛湿地、森林/灌木湿地、泥炭沼泽、红树林、盐沼等。	5
水体	陆地范围液态水覆盖的区域，包括江河、湖泊、水库、坑塘等。	6
苔原	寒带及高山环境下由地衣、苔藓、多年生耐寒草本和灌木植被覆盖的土地，包括灌丛苔原、禾本苔原、湿苔原、高寒苔原、裸地苔原等。	7
人造地表	由人工建造活动形成的地表，包括城镇等各类居民地、工矿、交通设施等，不包括建设用地内部连片绿地和水体。	8
裸地	植被覆盖度低于 10% 的自然覆盖土地，包括荒漠、沙地、砾石地、裸岩、盐碱地等。	9
冰川和永久积雪	由永久积雪、冰川和冰盖覆盖的土地，包括高山地区永久积雪、冰川，以及极地冰盖等。	10

GlobeLand30 数据采用 WGS-84 坐标系。其南纬 85°-北纬 85° 之间的区域投影方式采用 UTM 投影，6 度分带。对应的陕西省商洛地区数据位于其 N49_30 图幅中，如图2.2所示。



图 2.2: GlobeLand30 数据图幅示意

1. 引言

2. 研究背景

2.1. 研究区概况

2.2. 数据来源

3. 研究方法

3.1. Markov 模型

3.2. 元胞自动机

3.3. Terrset 软件

3.4. CA-Markov 模型

4. 研究结果与讨论

4.1. 研究结果

4.2. 模型验证

4.3. 不足

5. 参考文献

Markov 模型是基于 Markov 过程理论形成的用来预测事件发生概率的一种方法。使用的前提条件是事件过程具有无后效应特征，即过程在 t_0 时刻所处的状态为已知条件， $t > t_0$ 时的状态与在 t_0 之前所处状态无关。一定区域内，不同土地利用类型之间具有相互可转化性^[2-3]，因此在一定条件下，土地利用的动态演变具有 Markov 过程的性质。

其中，土地利用类型对应 Markov 过程中的“可能状态”，土地利用类型相互转化的面积数量或比例对应状态转移概率（转移矩阵），公式1中的 S_t 即为 t 时刻状态。

$$S_{t+1} = P_{ij} \times S_t \quad (1)$$

P_{ij} 即为转移矩阵，见公式2。

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 $0 \leq P_{ij} \leq 1$ ，且 $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$ ，即每个当前状态的土地类型向下一个状态的土地类型转移的概率和为 1。

元胞自动机（Cellular Automata, CA）是一种时间、空间、状态都离散，空间相互作用和时间因果关系都为局部的网格动力学模型，具有模拟复杂系统时空演化过程的能力^[4]。

在土地利用变化的模拟中，将研究区划分为元胞，每个元胞都对应着一定的土地利用类型，土地利用变化的历史趋势、土地适宜性以及相关的政策、经济因素构成规则，它们共同决定着每个元胞土地利用类型转换的可能性，当可能性超过控制阈值的时候，土地利用类型将发生转化^[5]。

TerrSet^[6]是一个综合地理空间软件系统，用于监测和模拟地理空间变化以促进可持续发展。TerrSet 软件结合了 IDRISI 地理信息系统分析和 IDRISI 图像处理工具等应用程序。本研究使用了 Terrset 中的 IDRISI GIS Analysis——Change/Times Series——MARKOV 和 CA_MARKOV 工具。

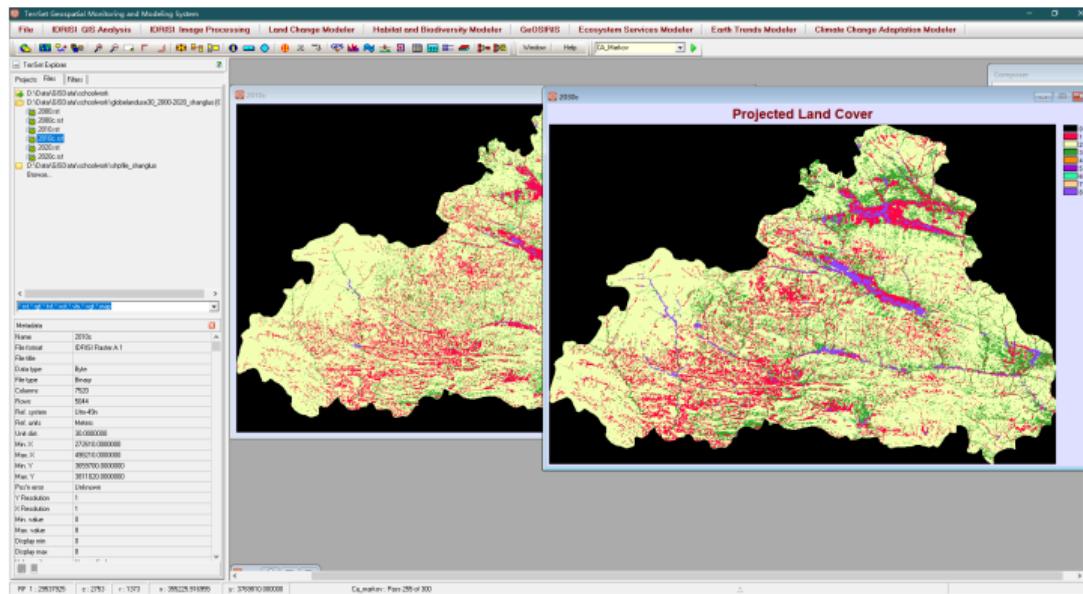


图 3.1: Terrset 软件截图

基于 CA-Markov 的土地利用变化预测

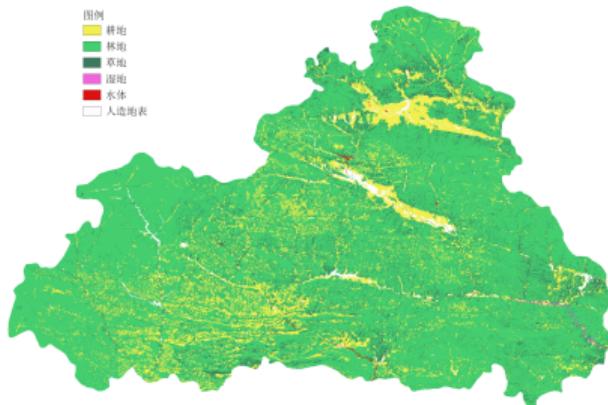
CA-Markov 模型结合了元胞自动机和马尔科夫链模型，将连续的空间数据和空间转换信息加入到马尔科夫链分析中，综合了元胞自动机模拟复杂空间变化的能力和 Markov 模型定量化的预测的优势，提高了土地利用类型转化的精度^[1,7-8]。

土地利用类型	耕地	林地	草地	灌木地	湿地	水体	苔原	人造地表
耕地	0.7080	0.1760	0.0326	0.0000	0.0002	0.0010	0.0000	0.0822
林地	0.0696	0.8068	0.1158	0.0000	0.0001	0.0016	0.0000	0.0061
草地	0.0330	0.3782	0.5723	0.0000	0.0003	0.0010	0.0000	0.0151
灌木地	0.1429	0.1429	0.1429	0.0000	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429
湿地	0.0298	0.0178	0.0154	0.0000	0.8087	0.1188	0.0000	0.0096
水体	0.0223	0.2269	0.2864	0.0000	0.0902	0.3351	0.0000	0.0392
苔原	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.0000	0.1429
人造地表	0.1708	0.0359	0.0261	0.0000	0.0001	0.0015	0.0000	0.7657

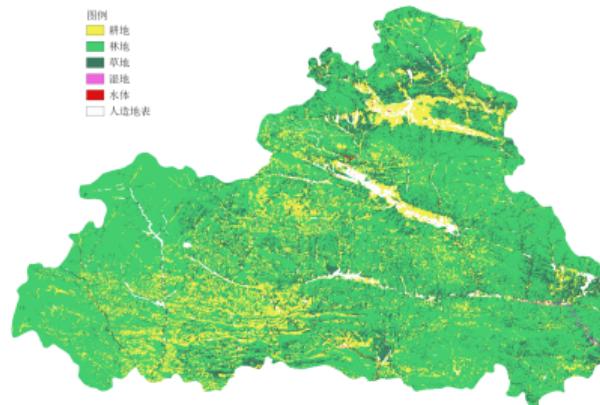
表 3.1: Markov 变化概率矩阵

在 Terrset 软件中，首先使用 2000、2010 两期土地利用分类数据生成 Markov 变化矩阵，参数为默认设置（5*5 的元胞空间；迭代 10 次）结果如表 3.1 所示。在 Terrset 中设置间隔单位为 10 年，因此得出的概率解释为每年每个类别向其他类别转换的概率。

使用表 3.1 变化矩阵的 Morkov 模型，利用 2020 年的土地利用分类数据对 2030 年土地利用变化做预测，依然为默认参数，结果如图3.2。



(a) 2020 年土地利用分类数据



(b) 2030 年预测结果

图 3.2: 2020 年土地利用分类数据与 2030 年预测结果对比

1. 引言

2. 研究背景

2.1. 研究区概况

2.2. 数据来源

3. 研究方法

3.1. Markov 模型

3.2. 元胞自动机

3.3. Terrset 软件

3.4. CA-Markov 模型

4. 研究结果与讨论

4.1. 研究结果

4.2. 模型验证

4.3. 不足

5. 参考文献

使用 CA-Markov 模型预测的 2030 年土地利用变化结果见表4.1。

表 4.1: 2030 年土地利用变化

土地利用类型	2020 年		2030 年		年均变化率
	面积/平方公里	比例	面积/平方公里	比例	
耕地	2514.31	12.99%	2919.76	15.09%	0.21%
林地	14932.30	77.15%	13187.64	68.14%	-0.90%
草地	1622.01	8.38%	2750.16	14.21%	0.58%
湿地	15.01	0.08%	15.48	0.08%	0.00%
水体	15.21	0.08%	11.24	0.06%	0.00%
人造地表	255.60	1.32%	470.15	2.43%	0.11%

其中林地面积呈减少趋势，草地、耕地、人造地表面积逐年增加。

为了确保模拟结果的可靠性，我们需要对模型进行验证。使用 2000、2010 两期土地利用分类数据生成的 Markov 变化矩阵，利用 2010 年土地利用分类数据预测 2020 年土地利用数据。通过统计预测的 2020 年各类用地预测面积与来自 GlobeLand30 的实际面积进行比较，并计算总精度 $E = \sum [|(m_{i0} - m_{it})| / m_{i0}] \times 100\%$ 。验证结果见表 4.2。

表 4.2: 基于 2020 年预测结果与实际分类结果比对的模型验证

土地利用类型	实际面积	模型预测面积	面积误差	总精度
耕地	2514.31	3534.93	40.59%	
林地	14932.30	15198.52	1.78%	
草地	1622.01	2180.29	34.42%	
湿地	15.01	13.50	-10.07%	89.65%
水体	15.21	15.81	3.98%	
人造地表	255.60	411.37	60.94%	

- 未使用 IOU 检验预测结果的空间精度；
- 利用同一模型对不同基期进行预测和验证；
- 生成模型的参数及预测的参数均为默认，未经过验证；
- 未阐明研究现实意义；
- 模型中缺少环境驱动力因素如高程、人口、经济等。

1. 引言

2. 研究背景

2.1. 研究区概况

2.2. 数据来源

3. 研究方法

3.1. Markov 模型

3.2. 元胞自动机

3.3. Terrset 软件

3.4. CA-Markov 模型

4. 研究结果与讨论

4.1. 研究结果

4.2. 模型验证

4.3. 不足

5. 参考文献

- [1] SANG L, ZHANG C, YANG J, et al. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model[J/OL]. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54(3-4): 938-943[2022-05-15]. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0895717710005108>. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.11.019.
- [2] MULLER M R, MIDDLETON J. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada[J]. Landscape Ecology, 1994, 9(2): 151-157.
- [3] 何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 中国北方未来土地利用变化情景模拟[J]. 地理学报, 2004, 59(4).
- [4] 孙战利. 空间复杂性与地理元胞自动机模拟研究[J]. 地球信息科学, 1999, 1(2): 32-37.
- [5] 熊利亚, 常斌, 周相广, 等. 基于地理元胞自动机的土地利用变化研究[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 38-43.
- [6] TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling Software[EB/OL]. [2022-05-15]. <https://clarklabs.org/terrset/>.
- [7] HAMAD R, BALZTER H, KOLO K. Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios[J]. Sustainability, 2018, 10(10): 3421.
- [8] SUBEDI P, SUBEDI K, THAPA B, et al. Application of a hybrid cellular automaton-Markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: A case study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida[J]. Applied Ecology and Environmental Sciences, 2013, 1(6): 126-132.

Thanks!
谢谢！