

文章编号: 1001-1595(2001)02-0148-08

中图分类号: P208

文献标识码: A

集成GIS和细胞自动机模型进行地理时空过程模拟与预测的新方法

张显峰, 崔伟宏

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

Integrating GIS with Cellular Automaton Model to Establish a New Approach for Spatio-temporal Process Simulation and Prediction

ZHANG Xian-feng, CU IWei-hong

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract The functionality of spatio-temporal analysis and modeling is a drive for Geographical Information Systems (GIS) to further applications in various applied fields and Digital Earth plan. However, currently commercial GIS systems lack those capabilities for spatio-temporal distribution, prediction, and simulation of spatio-temporal data. So more effective and powerful modeling methods need to be developed. Cellular Automaton Model (CA) provides GIS with a bottom-to-top spatio-temporal modeling frame, which is composed of a fourfold: cells, states, neighbors and rules. The simplicity and flexibility make CA able to simulate a variety of behaviors of complex systems. In order to meet the needs of spatio-temporal simulation under GIS environment, the standard CA is extended to GIS context about the concept of cells, system time and transition rules. Based on these extensions, several factors affecting urban evolution are simulated on a virtual city. Then Urban Landuse Evolution Simulation and Prediction Model (LESP) was established by integrating GIS with ECA. Finally, to take Baotou City as an example, LESP model was used to simulate Baotou City expansion process. The initial time is 1992 when land use data were acquired by aerial photography. The change data collected by differential GPS are used for model calibration. The appropriate extents of Baotou City development in 1998, 2008 and 2020 are simulated. The result of 1998 is consistent with the surveyed data with GPS. Thus, the established model can be used as a virtual lab for decision support in urban planning and land policymaking.

Key words: spatio-temporal process simulation; Cellular Automaton; neighborhood; transition rule; urban landuse evolution

摘要: 目前商用地理信息系统(GIS)不能完整地表达地理实体的时态信息和时空关系, 缺乏时空分析和时空动态模拟的能力, 这已成为GIS界的一个共识。然而, 未来GIS在各应用领域的深入发展以及在实现“数字地球”战略过程中, 都要求发展新的时空分析和模拟方法。细胞自

收稿日期: 2000-03-29; 修回日期: 2000-11-15

基金项目: 国家“九五”科技攻关项目(96-b02-07)

作者简介: 张显峰(1967-), 男, 四川宣汉人, 中科院遥感所助理研究员, 博士, 主要从事时空分析建模以及3S技术集成研究。

动机(Cellular Automaton)是一种“自下而上”的动态模拟建模框架,具有模拟地理复杂系统时空演化过程的能力。首先将标准CA模型的4元组进行扩展以满足GIS环境下时空动态模拟的要求,然后以城市土地利用演化这一动态过程为例,建立了土地利用演化动态模拟与预测模型(LESP),最后运用此模型对包头市城市扩展和土地可持续利用演化进行了比较成功的模拟和预测。

关键词: 时空过程模拟; 细胞自动机; 邻域; 转换规则; 土地利用演化

1 GIS 环境下时空模拟研究现状与发展

传统的地理信息系统(GIS)能够以数字化方式较好地描述地理实体和地理现象的空间分布关系,但这种描述是静态的,不能完整地表示地理实体的时态信息和时空关系,时空分析能力很弱^[1,2],而时间、空间和属性是地理实体的3个基本特征^[3]。如何建立有效的时空数据模型来表述地理实体的时空特性以及如何发展面向应用的时空分析模拟方法是目前GIS及其相关领域研究的热点,同时也是GIS向各个应用领域深入发展以及实施“数字地球”战略必须解决的问题。

目前解决GIS环境下缺乏时空分析尤其是时空模拟能力的问题的一个主要方法是将GIS和地理时空模拟模型进行集成^[1]。但是,传统的地理时空过程模拟模型如系统动力学模型、社会物理学模型等,缺乏对空间的表达,通常从宏观动态性出发将时间仅仅作为一个变量纳入到方程中,忽略了时空的不可分割原则。此外,GIS中对时空的表达都是离散的,而传统的地理过程模拟模型大都是基于微分方程的连续模型,因而很难将二者进行有效的集成。近年来,建立于微观动态模拟理论上的一些微观离散模拟方法如CA、神经网络和分形模型等,被引入GIS环境建立时空一体化的时空过程模拟分析引擎。

细胞自动机模型(Cellular Automaton Model,简称CA模型),最早由Ulam在20世纪40年代提出,并由Von Neumann用于研究自复制系统的逻辑特性^[4],而Conway编制的“生命游戏”(the game of life)是最为著名的一个在计算机上实现的细胞自动机模型。20世纪80年代以来,伴随着细胞自动机本身理论的深入,它在地理学中的应用和理论研究也得到了长足的发展。美国圣巴巴拉加州大学地理系的Helen Couclelis对细胞自动机模型在地理学中,尤其是在城市发展动态模拟中,进行了开创性的研究工作^[5]。CA模型

和GIS的集成,一方面增强了GIS的时空动态建模功能,将CA作为动态空间模拟的一种框架纳入GIS分析中;另一方面,GIS提供的强大空间数据处理能力可以为CA模型准备数据和定义有效的细胞转换规则以及对模拟结果进行可视化,方便CA模型的校验和决策支持。

2 集成GIS和CA模型建立时空动态模拟引擎

2.1 CA模型的特点

标准的CA系统是一个由细胞(cells),状态(states),邻域(neighbors)和规则(rules)构成的四元组。所有细胞是相互离散的,构成一个细胞空间;在某一时刻一个细胞只能有一种状态,而且该状态取自一个有限集合;邻域是细胞周围按一定形状划定的细胞集合,它们影响该细胞下一个时刻的状态;细胞规则定义了细胞状态转换的规则。CA系统的时间也是离散时间,它不具有物理意义,和时态GIS中的系统时间具有相似的含义。用集合的语言可以将CA模型描述如下

$$S_{t+1} = f(S_t, N)$$

式中, S 为有限集合,代表细胞状态; N 代表细胞邻域; t 表示时间; f 为局部转换规则。

CA模型以其框架的简单、开放和可以模拟十分复杂的系统行为而具有很强的生命力,从目前的研究看,它具有以下特点:

1. CA模型采用“自下而上”的构模方式,而且没有一个既定的数学方程,只是一个建模原则,因此具有很好的开放性和灵活性。这和运用微分方程或物理模型从宏观上描述空间现象的传统方法是对立的,前者更符合人们认识复杂事物的思维方式。

2. CA模型是一个基于微观个体相互作用的时空动态模拟模型,将地理实体的空间和时间特性统一在模型中,通过划分研究对象的细胞空间和研究初始状态及状态转换规则,CA模型就可以自行迭代运算,模拟系统演化过程,而GIS则

不具备迭代运算的能力。

3 CA 模型将空间和时间离散化,适合于建立计算机模型和并行计算特征,因为计算机对客观世界的表示是离散的。

4 CA 模型具有不依赖比例尺的概念^[6],细胞只是提供了一个行为空间,本身不受细胞空间测度和时间测度的影响,时空测度的影响通过转换规则体现。因此CA 模型可以用来模拟局部的、区域的或大陆级的演化过程。

5 从数据模型的角度看,CA 模型中的细胞和基于栅格GIS中的栅格一样,所以CA 模型易于和GIS、遥感数据处理等系统集成^[7]。

由上述可知,CA 模型较适合空间信息的时空动态分析,尤其是时空动态过程的模拟,为GIS中时空动态分析提供了一个框架思路和建模方法。但是由于地理系统的复杂性,标准的CA 模型需要扩展和改进,才能满足地理时空模拟的需要,更加真实地模拟地理实体的演化进程。

2.2 扩展的CA模型

标准的CA 模型是对客观世界高度抽象的结果,但是在地理时空数据分析中,无论是模型的输入数据和输出结果以及状态转换规则都是有着明确地理含义,因此地理细胞自动机模型的4元组有明确的时间和空间含义,是对标准CA 模型的扩展,即扩展的CA 模型(Extended CA,简称ECA)。在前人研究基础上,本文从满足GIS时空分析建模的需要,提出这种扩展至少包括以下几个方面:

1 细胞空间的扩展。地理细胞空间不再是一个抽象的空间,而是和笛卡尔坐标系下的地理空间对应。根据模拟分析对象的空间特性,可以抽象为1维的(如交通流)、2维的(地块)和3维(污染物扩散)的细胞空间。从数据模型看,2维细胞空间可以用基于域(field-based)的GIS数据模型来表示,为CA与GIS的集成带来了方便。细胞空间的划分不一定是矩形,可以是各种几何形状(如六边形),而且每一个细胞可以具有地理含义,如最小地理单元,或者地理区划单元。

2 细胞状态的扩展。标准的细胞状态集是一个有限的、离散集合,当CA用来进行地理时空分析时,地理细胞的状态集合可以定义为表征地理实体或现象的指标、编码或等级的集合,如土地的

适宜性是指标、土地利用类型是编码,而土地质量则是等级。

3 细胞状态转换规则的扩展。标准CA 模型的规则是局部的,由空间排列决定的映射函数^[8]。但地理现象和地理实体的动态演化却十分复杂,除受局部个体间相互作用的影响,还受各种区域的和更大尺度因素的影响,因此CA 模型中状态转换规则必须兼顾微观、区域和宏观,建立综合的多层次规则,才能有效模拟地理实体的演化过程,而且规则在细胞空间和时间上应该是不同构的,随区域差异和时间而调整。细胞转换规则的扩展是地理细胞自动机与标准细胞自动机最本质的区别。

4 时间概念的扩展。CA 模型中的模拟时间必须和地理实体演化中的真实时间建立对应关系,否则,地理时空建模就失去了利用价值。一般采用历史数据和其他模型预测数据来建立二者之间的联系。

2.3 集成GIS和ECA模型建立时空模拟引擎

ECA 模型是对地理实体演化过程的高度概括,其简单性决定了它的灵活性和普适性。作为一种建模框架和思路,ECA 模型作为GIS的一个模块集成到系统中,以增强GIS的时空动态模拟能力,这是因为:首先ECA 模型是一个可迭代运算的模型,因而可以模拟地理实体和现象的演化过程,而且动态变化“嵌于”最精细的空间级别——细胞;其次,CA 模型中的细胞通过与邻域内的其他细胞的相互作用关系来模拟动态系统与周围环境之间的交流和反馈;这种相互作用不是固定的,而是随着模拟过程动态变化(因为邻域和规则都是动态的);再次,通过定义不同CA 空间上的规则和这些规则的时段变化,可以产生复杂的全局格局,因而可能模拟复杂的地理时空演化现象和过程。

如果将CA 构模框架集成到多维动态GIS中形成时空动态模拟引擎,让用户能够定义CA 模型的四元组,尤其是可以灵活定义CA 局部转换规则,这样CA 就作为一个动态模拟引擎使得GIS用户可以根据具体的应用需求建立面向应用的专题模拟模型(图1)。

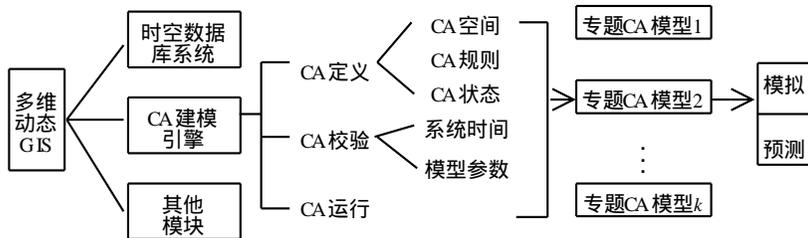


图1 集成CA与GIS生成时空模拟引擎

Fig 1 Integrating GIS and CA to create spatio-temporal modeling engine

3 用时空模拟引擎建立城市土地利用演化模拟模型

城市的扩展或城市化可以看做是微观不同土地利用类型相互转化的宏观表现。传统的城市扩展模拟模型往往是从经济、社会、商业、交通等影响城市发展的宏观因素着手建立模型,静态地或准动态地描述城市的结构和面积指标的变化,缺乏足够的空间信息,它们不能对城市扩展的微观相互作用直接模拟。此外这些模型是确定性运行的,不符合城市发展的随机性和不确定性^[9]。在中国,大量的农用地转化为城市用地,既威胁着农业的可持续发展,从长远来看也影响城市的可持续发展。因而从持续发展战略的高度来规划城市扩展的速度是十分必要的。本文在时空模拟引擎概念模型框架下,建立城市土地利用演化过程模拟预测模型(Landuse Evolution Simulation and Prediction Model, 简称LESP模型),为城市扩展提供一个虚拟环境,来模拟不同发展策略下,城市发展的形态变化以及对土地可持续利用的影响,为区域土地资源的持续利用提供决策支持。

3.1 模型描述

为了模拟自发式、扩散式、凝聚式和焦点吸引式等城市扩展的4种形式^[6],本文只考虑农业用地和城市用地之间的转化,不必考虑城市的内部结构,所以我们假设CA细胞只取2种状态:0和1,0代表农业用地状态,1代表城市用地状态。邻域的形态将直接影响细胞状态的转化,从理论上讲,邻域构型可以是各种几何图形,我们取Moore邻域构型。细胞状态转换规则是CA模型的关键,从3个层次来建立该转换规则。首先,从微观层次,考虑3个指标:邻域函数、费用系数和焦点引力。邻域函数是用以描述当前细胞受周围邻域细胞影响程度的指标;费用系数是从土地持续利用的角度设计的一个反映城市扩展所受耕地保护的阻力大小的指标,它可以是农业土地适宜性、土地

质量、农业产量等指标的函数,某个土地细胞越适合发展农业,它被城市化的阻力越大。焦点引力是和阻力系数相反的指标,反映城市设施,如车站、商业中心、高速公路等对农用地城市化的吸引力。其次,从中观层次,考虑区域规划控制,以及区域经济、资源、环境指标对城市扩展的影响。这些影响因素构成城市模拟的控制指标,在模型运行中影响城市扩展的速度和形式。这些控制指标可以分为绝对控制和相对控制,可以用0到1之间的数字来量化。最后,从宏观层次看,考虑时态尺度上的影响因子,如由土地可持续利用导出的土地资源合理分配,控制城市发展进程的规划等。模型可以表述如下

$$S_{t+1} = f(S_t, \Phi_N), M, A, R_n, R_p \quad (1)$$

其中, S_{t+1} 和 S_t 是某一细胞在 $t+1$ 和 t 时刻的状态; Φ_N 是表示细胞个体间相互作用的邻域函数; M 为土地持续利用费用系数; A 为焦点引力指标; R_n, R_p 分别为自然条件约束和规划控制; f 为状态转换规则映射函数。

综合考虑微观个体(细胞)相互作用,区域控制和区域社会经济、环境因素以及城市扩展时间轴上的控制,可以建立更加完善的细胞转换规则,避免了标准CA模型中只考虑邻域影响的局限性。

3.2 模型实施

按照从简单到复杂的原理,施以不同的转换规则来模拟城市扩展的规律,最后构建顾及土地可持续利用的城市动态演化模型。

3.2.1 只考虑局部转换规则

取CA邻域为Moore邻域,对于细胞空间中的每一个细胞,考虑影响局部个体细胞相互作用的因子:邻域内城市细胞的比例(D_{ω})和费用系数(M)

$$D_{(x,y)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{\omega} X_{(i,j)} \quad (2)$$

式中, $D_{\{x,y\}}$ 是位于 $\{x,y\}$ 处的细胞由其邻域计算的城市细胞密度; $X_{\{i,j\}}$ 为邻域内状态为城市的细胞, Ω 为邻域细胞集合。而费用系数的计算式如下

$$M_{\{x,y\}} = \Phi(L, d) = d \times L \quad (3)$$

式中, $M_{\{x,y\}}$ 为位置 $\{x,y\}$ 处细胞的费用值; d 为该细胞到最近城市细胞的距离; L 为农业土地适宜性指标, 所以 $M_{\{x,y\}}$ 实质上是从当前细胞到最近城市细胞的加权费用距离。

为了将上述 2 个指标转化为某一细胞发展为城市的可能性, 用一个负幂函数将指标得分映射为细胞发展概率

$$P_{\{x,y\}} = \exp(-\mu_1 \times M_{\{x,y\}} / M_{\max}) \quad (4)$$

式中, $P_{\{x,y\}}$ 为位置 $\{x,y\}$ 处的细胞转换概率; μ_1 为调节系数; $M_{\{x,y\}}$ 为位置 $\{x,y\}$ 处的土地转换费用系数; M_{\max} 为最大费用系数。

邻域内城市细胞密度指标 $D_{\{i,j\}}$ 取为判别指标, 按这两个指标可以构建一个最简单的转换规则

IF $P_{t,\{x,y\}} >$ 某一阈值 1

&

IF $D_{t,\{x,y\}} >$ 某一阈值 2

THEN cell $\{x,y\}$ 由农用地转化为城市用地

以上就是一个非常简单的转换规则, 在此规则下我们来虚拟城市扩展的变化。图 2 反映不同邻域半径下, 细胞个体相互作用导致城市扩展的速率差异和形状差异。邻域半径越大, 城市边界扩展越快, 结构疏松, 反之亦然。这和早期城市模型的结论是一致的。

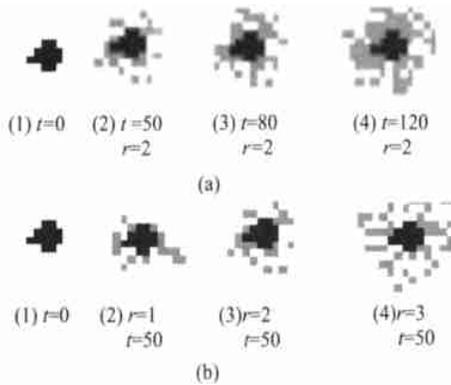


图 2 不同邻域半径和不同模拟时间下的城市扩展特征

Fig 2 Characteristic of urban growth with different neighborhoods and time

3.2.2 考虑焦点引力构建更复杂的转换规则

焦点指城市中或附近出现的车站、商业中心

工业中心、交通干线等, 它们在一定时段内对周围土地转化有着强烈的影响力, 导致城市扩展的速率差异。假定高速公路为虚拟城市的焦点(线状焦点), 来考察它们对城市发展的影响。焦点对土地单元的吸引力是随距离逐渐衰减的, 本模型中采用负幂衰减函数来量化焦点的吸引力

$$A_{\{x,y\}} = \exp(-\mu_2 \times d_{\{x,y\},c} / d_{\max}) \quad (5)$$

式中, $A_{\{x,y\}}$ 为 t 时刻位置 $\{x,y\}$ 处的细胞受到的吸引力; μ_2 为速率参数; $d_{\{x,y\},c}$ 为 $\{x,y\}$ 细胞到焦点 C 的可达性指标, 这里用距离来表示; d_{\max} 为细胞空间中距离焦点 C 的最大距离。

这样, 一个细胞状态由农业用地转化为城市用地的可能性大小由费用系数和焦点引力 2 个指标决定, 用加权的办法来计算其总体发展概率

$$P_{\{x,y\}} = \exp(-\alpha \times (\mu_1 \times M_{\{x,y\}} / M_{\max} + \mu_2 \times d_{\{x,y\},c} / d_{\max})) \quad (6)$$

在同样的初始状态下, 加上焦点的影响, 对虚拟城市演化进行模拟如图 3 所示, 从图 3(a)、图 3(b) 可以看出由于北边有高速公路通过, 城市受到向北发展的引力。

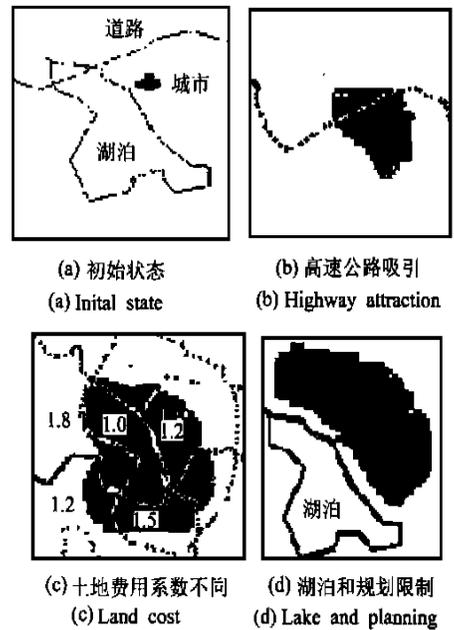


图 3 焦点吸引和限制条件下虚拟城市扩展模拟

Fig 3 Expansion modeling of virtual city under restrictive factors

3.2.3 考虑规划、自然条件等约束条件下的转换规则

现实世界中城市发展并不完全是在一种自由

状态下进行的, 要受到许多因素的影响, 其中最重要的是自然障碍因子, 如山地、水体等对城市发展的约束, 以及人类自身对城市发展形式和速度的规划控制。而且规划行为是保证土地持续利用, 合理城市发展速度的手段。规划对城市发展的影响大致表现在 3 个方面: 限制农业用地向城市用地的转化, 比如: 划出的保护区、基本农田, 这些地区在相当长时间内都不容许城市化; 规定城市发展的形态和格局, 比如: 规定城市紧凑发展, 或向某一个方向发展等; 控制城市发展的速度, 通过规划土地供应量来控制城市发展的速度。

自然条件的限制可以是绝对限制, 也可以是部分限制。如水体、悬崖陡坡等对土地利用演化的限制即属于前者, 而地形高程的影响则属于部分限制, 可用一函数来量化。综合规划和自然条件等因子对城市发展的影响, 可以归纳为限制因子 R

$$R_{\{x,y\}} = \left[\prod_{i=1}^k w_i R_{i,\{x,y\}} \right] \times \prod_{j=k+1}^m R_{j,\{x,y\}} \quad (7)$$

式中, w_i 是限制因子的权重; R_i 是部分限制因子; R_j 是绝对限制因子, 其值取 0 或 1, 分别表示位置 $\{x, y\}$ 处的细胞不能和可以转化。对于部分限制因子(如坡度)可以采用模糊隶属度($\mu_{可能}$)的概念来量化。以坡度为例, 其隶属度函数如下

$$\mu_{可能} = \begin{cases} 1 & \text{坡度} < a \\ e^{-k\left(\frac{\text{坡度}-a}{b-a}\right)^2} & a < \text{坡度} < b \\ 0 & \text{坡度} > b \end{cases} \quad (8)$$

用乘积算子可构建 LESP 模型的转换规则

$$P_{\{x,y\}} = P_{\{x,y\}} \times R_{\{x,y\}}$$

图 3(c) 表示由于土地费用系数的差异, 不同方向上农业用地向城市转化的速度存在差异, 西北费用系数最高, 城市化速度也最慢, 这符合保护好的耕地作为农业生产用地的目标。图 3(d) 反映湖泊和规划控制对城市扩展的绝对限制作用, 规划要求城市发展和湖泊水体之间至少间隔 3 个细胞距离, 以保护湖水不受污染。

4 实例

4.1 系统集成与数据处理

在 Arc/Info 的 Grid 环境下, 将运用 AML 和 VB 程序设计语言实现 LESP 模型, 并以包头市城市扩展为例, 模拟了在不同条件下城市向周边农业用地的扩展。该集成方式属于一种松散集成方式, GIS 和 CA 模型具有共同的图形用户界面,

CA 模型的运行由 AML 语言驱动。模型主体用 VB 程序设计语言开发。GIS 模块主要完成数据的处理、模型运行监视、模型校验和结果显示等功能。由于篇幅的原因, 在此不能详细叙述集成的技术细节。

包头市位于内蒙古自治区中部, 黄河北岸, 市区面积 $2\,205.9\text{ km}^2$, 由 3 个部分组成, 沿黄河东西展布。1992 年完成土地利用详查工作, 获得了 1992 年包头市及近郊区 8 大类数十亚类的土地利用现状数据, 我们对原始数据重新分类, 提取居民地和城市类型, 作为 LESP 模型的初始状态, 一级公路和铁路作为城市进一步发展的吸引焦点, 由土地质量计算土地费用系数。地形、水体、保护地和规划控制作为限制因子。1998 年用差分 GPS 精确获取了 1992 年以来城市扩展的时空变化数据, 作为历史数据用于校验模型参数和模型时间。根据本文提出的模型对包头市城市发展进行了模拟(图 4)。

4.2 模型校验

模型校验有 2 个目的, 一是确定模型参数。通过历史数据来检验模型结果, 反复试验, 获得模型的运行参数; 二是将系统时间映射到真实时间, 以供规划决策使用。目前 CA 模型的校验有以下几种方式:

1. 历史数据检验。如果获得 2 个或 2 个时刻以上的历史数据, 以 1 个时刻作为模型的初始状态, 其他时刻的数据和模拟结构进行比较, 如果二者吻合则可以把此时的模型参数作为可选参数, 进行进一步模拟。Clarke (1998) 用修正的 Lee-Sallee 形状指数来比较二者的形状相似性, 即二者的交集和并集的比值。此外也可以用空间相关系数来比较。这种校验方法适合城市扩展呈线性增长的情形。

2. 利用社会经济指标来校正模型时间。选用和城市扩展相关性较大的指标(如人口、经济等), 预测其发展变化来反推城市扩展规模。

3. 从土地可持续利用原则导出区域土地资源消费速率来校正模型参数和时间。例如, 根据土地资源的优化分配, 规划以后各时段内的土地消费量, 就可以和 LESP 模型的预测结果进行对比, 确定模型时间和真实时间之间的对应关系, 本文采用该方法来校验模型。

图 4(a) 是模拟的初始状态, 即 1992 年的土地利用现状。根据土地消费速率校正的结果, 图

4(b)所示的模拟结果大致相当于1998年的城市扩展现状。图4(c)、图4(d)是对未来的预测,系统时间分别为 $t=11$ 和 $t=17$,大致相当于现实中的2006年和2015年。从1998年的历史数据检验的

结果看,本文提出的模型能够较好地模拟包头市未来土地利用的演化和城市扩展,为决策支持提供了一个虚拟模拟工具。

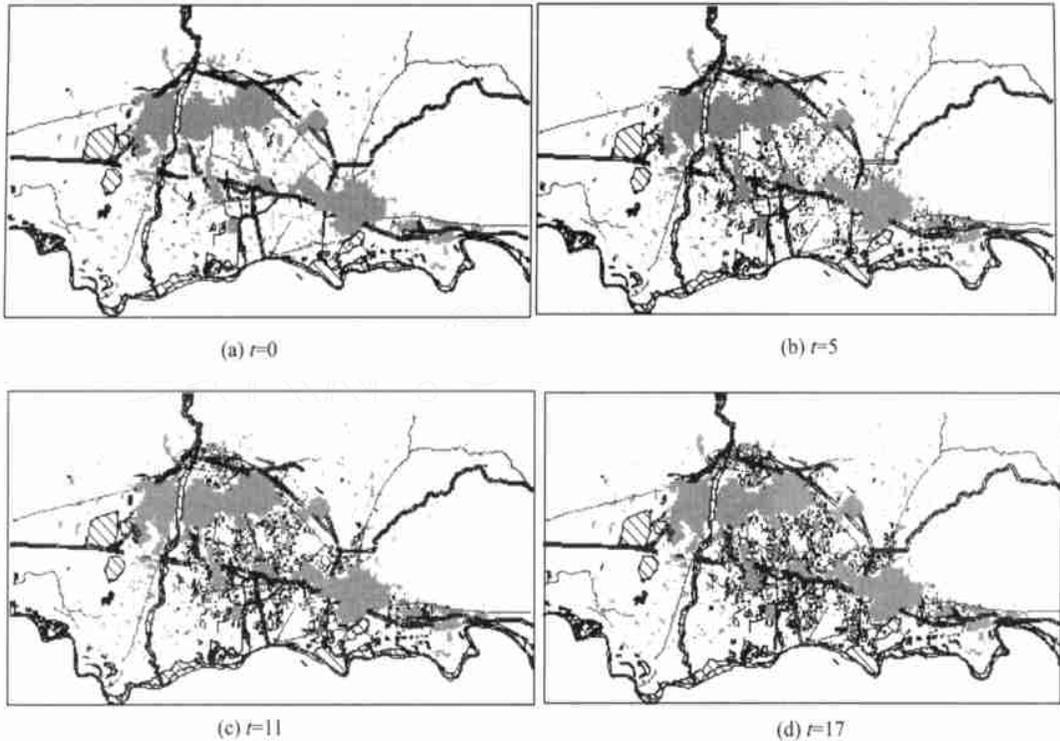


图4 包头市城市扩展过程模拟与预测

Fig 4 The result of LESP model in Baotou City expansion

5 结论

传统的基于微分方程的系统动力学模型是根据人们对系统总体规律的认识,用一个或几个变量随时间的演化来模拟整个系统行为,一旦参数给定,这种模拟就是确定性的。近年来成为热点的CA模型则是采取“自下而上”的建模思路,根据微观个体(细胞)间的相互作用来定义离散细胞状态的转换规则。由于个体相互作用在系统模拟中是变化的,因此这种模拟具有一定的不确定性,符合系统发展的特点。本文对标准CA模型的细胞含义、规则定义和系统时间映射等方面进行了扩展,以适应GIS环境下时空动态分析的需要,并和Arc/Info的Grid模块进行了有效集成。以城市土地演化为例,用扩展的CA模型对现实中影响城市扩展的主要因子进行了虚拟模拟。最后以包头市为例,用本文提出的模型成功地模拟了顾及土地持续利用情况下,未来城市扩展的格局。

将CA模型用于地理实体的时空分析与模拟还有待进一步的深入研究。例如,如何将宏观经济、人口模型动态地嵌入CA模拟过程中,自动调整模型参数和规则定义,以及将模糊推理与CA时空动态模拟结合,建立智能化的CA模拟专家系统。这些问题的深入研究与解决,将使得CA模型在越来越多的时空分析领域发挥巨大的作用。

致谢 感谢美国东密执根大学环境信息技术与应用中心的谢一春博士对本文提出的宝贵意见。

参考文献:

- [1] GOODCHILD M. Integrating GIS and Spatial Data Analysis: Problems and Possibilities [J]. Journal of International Geographical Information Systems, 1992, 6(5): 327-334
- [2] BATTY M. Using Geographical Information Systems in Urban Planning and Policy Making [A]. Geographical Information Systems: Spatial Model-

- ing and Policy Evaluation [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 51-69.
- [3] GOODCHILD M. Geographical Information Science [J]. Journal of International Geographical Information Systems, 1992, 6(1): 31-45.
- [4] WHITE R, ENGELEN G. Cellular Automata and Fractal Urban Form: A Cellular Modelling Approach to the Evaluation of Urban Land Use Patterns [J]. Environment and Planning A, 1993, (25): 1175-1199.
- [5] CLARKE K C, GAYDOS L J, HOOPEN S A. Self-modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area [J]. Environment and Planning B, 1997, (24): 247-261.
- [6] CLARKE K C, GAYDOS L J. Loose-coupling a Cellular Automaton Model and GIS: Long-term Urban Growth Prediction for San Francisco and Washington/Baltimore [J]. Journal of International Geographical Information Science, 1998, 12(7): 699-714.
- [7] ITAMIR M. Cellular Worlds: Models for Dynamic Conceptions of Landscape [J]. Landscape Architecture, 1988, (July/August): 52-57.
- [8] SUN Zhan-li. Study on Spatial Complexity and Geographical Cellular Automata Simulation [J]. Geographical Information Science, 1999, 1(2): 32-37. (in Chinese)
- [9] GEOFFERY G R, FOLE S. Citylife: A Study of Cellular Automata in Urban Dynamics [A]. FISCHER M, HENK J S, UNW N D. Spatial Analytical Perspectives on GIS [C], New York: Taylor & Francis, 1996. 213-228.

《测绘学报》近期选题方向

经中国测绘学会第七届理事会《测绘学报》编辑委员会第一次会议讨论, 具体确定了本刊近期的选题内容。在今后几年, 《测绘学报》将积极关注以下研究热点, 并优先刊载以下诸方面的论文。

1. 卫星导航定位技术的研究和应用。包括差分 GPS, GLONASS, GNSS, GPS/INS 等及其在地球动力学、防灾减灾、全球变化、海平面变化和国民经济有关领域的应用。
2. 地球重力场的研究。包括局部重力场逼近技术和理论, 全球变化, 区域性地壳运动, 海洋动力环境, 大地测量反演问题, 海洋和航空航天重力测量的理论和方法。
3. 大地测量同其他相关学科的综合研究, 相互渗透的新理论、新方法、新技术; 大地测量观测自动化和智能化的实现; 大地测量观测和相关地学探测的集成化和标准化等的研究。
4. 数字摄影测量、地图、地理的理论和技术的研究及其在空间数据库建立和更新中的应用。
5. GPS, RS, GIS 集成的理论和关键技术及其在国土、矿产、交通等国民经济各部门中的应用。
6. 高分辨率、高光谱和多角度遥感器原理及关键技术, 以及微波遥感、合成孔径雷达 SAR、干涉雷达 NSAR 和差分干涉雷达 D-NSAR 的研究。
7. 数字化测绘技术及其在地形、地籍、房地产信息采集和管理等方面的应用, 国家空间地理数据基础设施和数字化测绘产品的标准、设计和制作技术。
8. 地图数据的符号化、可视化研究。包括数字环境下地图信息的表达与传输, 多媒体、虚拟现实方法与地图学理论技术方法的关系和应用; 电子地图、电子海图和电子地图集的制作与应用; 地图要素模式识别; 互联网上的制图活动。
9. 重大、精密测量工程的理论、技术、仪器设备和方法, 工程、构筑物、城市及矿区的动态、实时、高精度形变监测技术, 数据处理与分析评价, GIS 数据精度、数据质量控制的理论和方法。
10. 海洋测绘的研究。包括海洋定位、海洋重力场、海平面与海面地形、水下地形测量、水声测量数据, 图形图像处理以及 GPS、GIS 在海洋测绘中的应用。
11. 测绘仪器、地图印刷的新技术、新方法。