

文章编号:1671-8860(2004)06-0504-04

文献标识码:A

地理特征元胞自动机及城市土地利用演化研究

罗 平^{1,2} 杜清运¹ 雷元新² 王 涛¹

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)
(2 佛山科技学院环境与土建学院, 佛山市江湾一路 18 号, 528000)

摘 要:将综合了几何和非几何属性的地理特征概念引入元胞自动机,构建了地理特征元胞自动机概念模型。通过对深圳特区土地利用演化的实证研究表明,地理特征 CA 可以更真实地描述元胞地理信息、局部空间关系和演化规则,理论上是可行的;基于地理特征的城市土地利用演化 CA 在城市规划中具有很大的应用价值。
关键词:地理特征;元胞自动机;城市土地利用演化
中图法分类号:P271;P208

为了更真实有效地模拟地理过程,标准元胞自动机 (cellular automata, CA) 必须扩展,有关研究见文献[1~4]。这些研究极大地促进了 CA 模型的应用能力,但是这些扩展大都是基于几何特性进行的,还不能真正完全地解决标准 CA 固有的缺陷。本文在经典地理过程分析理论的基础上,探讨了 CA 的空间过程模拟机制和局限性本质,将综合了几何和非几何属性的地理特征概念引入 CA,并以深圳特区土地利用演化作为实证对象,尝试建立基于地理特征的元胞自动机概念模型。

1 CA 的地理过程模拟机制及局限性

经典地理学关于地理系统过程的分析涉及到地理空间、地理梯度、地理流和空间关系四个基本概念^[5]。地理空间是识别和分析地理系统的基本概念和单元,是地理系统的描述基础^[6]。地理梯度是地理空间的非均质属性表达,是系统演化的内在动力、速率、强度以及方向的基础。地理流是地理空间单元之间的相互作用形式,经典地理学正是通过地理流来度量地理系统的行为特征和规律,从而进行地理过程模拟和预测的^[5]。空间关系是认识地理系统各空间对象相互间联系的核心概念,根据文献[7],空间关系可以是由空间物体的几何特性引起的空间关系,也可以是由空间

物体的几何特性和非几何特性共同引起的空间关系,还有一种是完全由空间物体的非几何属性所导出的空间关系。

对比 CA 与经典地理过程研究模型,模型表达的实质均是空间、梯度、流和空间关系。CA 模型通过元胞、状态与元胞空间等概念实现了地理空间的基本表达。元胞空间与基于几何定位的地理空间概念有类似的意义,而元胞状态则是 CA 模型中惟一的地理变量。CA 模型通过邻居概念实现了地理梯度的有效表达,邻居规则与地理梯度的实质均是确定空间相互作用对象,其差别在于邻居规则是基于几何特性的选择方式,而地理梯度是基于几何和属性综合来选择作用对象。CA 模型通过元胞局部演化规则实现了地理流的有效表达,元胞流的方向由邻居规则确定,流的强度强烈地依附于元胞距离,这与空间相互作用模型中的距离衰减极为相似。需要注意的是,与地理流不同,元胞流的速度是均质的,不受元胞空间定位的限制,只与元胞空间划分和时间演化段 T 有关系,而且元胞流的组合方式极为复杂,理论上只要演化时间足够,元胞空间内任意两元胞之间都有流存在,这与地理流受交通方式限制有很大区别。CA 中的空间关系主要通过元胞构形表达,构形隐含了几何和属性两种类型的空间关系,从几何上描述了元胞在元胞空间中的绝对位置、元胞间的相对位置、距离、方向和拓扑关系,从属

收稿日期:2004-03-01。
项目来源:国家建设部建设领域信息技术研究计划资助项目(02-5-1.18)。

性上描述了元胞状态的空间分布组合和空间目标之间的属性相关。

CA 在地理系统模拟方面存在一些不足,其局限性的实质是元胞地理特征表达不够,无法描述更深层次的地理属性信息。具体表现为四个方面:

地理空间单元描述的限制,无法描述更高空间层次的位置,也无法描述属性意义上的其他地理位置; 基于邻居概念的局部空间关系描述的限制,基于纯几何特性来定义邻居不能真实地反映局部的空间相互作用和空间关系; 元胞流介质均匀的假设前提限制; 局部演化规则的局限性。

2 基于地理特征的元胞自动机概念模型

2.1 地理空间单元描述

CA 有效地模拟地理过程的前提是元胞对地理空间的有效表达。这里提出元胞实体概念来描述地理空间单元,定义如下:元胞空间 L 代表一真实地理空间 G , G 空间是关于地理变量 Z_i 的离散空间,元胞 C 是该空间 G 的一个独立单元,那么 C 及其在 C 上的地理变量的综合体 $\mu(C, Z_i)$ 称为元胞实体。元胞实体包含两层意义:一是保留标准 CA 中关于元胞特性的基本描述;二是扩展元胞概念,引入元胞属性,依靠属性项来表达元胞所对应地理实体的地理特征信息。深圳市土地利用演化模型中的元胞实体数据结构如下。

Public Type LanduseCell	‘土地元胞属性结构
X As Long	行号
Y As Long	列号
Celltype As UseType	‘土地利用类型属性
StartUse Year As Long	时间属性
Traffic As Long	交通属性
FitBuild As Boolean	‘是否适宜建设属性
End Type	
Public Type UseType	‘土地利用类型
UsetypeID As Long	类型代码
Life As Long	规定该类型用地寿命
Dscrp As String * 20	类型中文名字
RuleA As Double	宏观影响函数参数 1
RuleB As Double	宏观影响函数参数 2
AffectX() As Double	影响其他类型用地
End Type	

其中时间属性描述元胞作为该利用类型的时间长短;交通属性为元胞的交通条件状况,是否适宜建设属性为元胞的地质、地形、环保等地理特征的综合值;土地利用类型属性是元胞状态,具有独立的数据结构,含有用地寿命、与其他类型关系等

信息以及人工调控等参数。

2.2 基于几何和属性综合的邻居模型

基于地理特征的 CA 采用的是基于属性和几何综合的邻居关系描述模型,可以解决标准 CA 单纯基于几何方式选择邻居的局限性。根据 CA 思想,理论上某个元胞的邻居应是在特定研究目的下对其下一个状态有或有主要影响的元胞集合,因此,基于几何规则选择的邻居空间内往往存在真实和非真实两种类型的邻居元胞^[3,8,9]。以深圳市土地利用演化 CA 模型为例,邻居选择采取如下步骤: 基于扩展的摩尔型方式($R=2$)确定基本邻居空间; 检索确定空间内所有邻居的交通属性,在元胞实体属性表中,交通属性取值定义为:0 表示邻居空间内无交通线通过;1 表示中心元胞无交通线通过;2 表示中心元胞有交通线通过; 选择基本邻居空间内的交通属性值大于等于 1 的元胞为真实邻居。

2.3 引入属性控制的元胞局部演化规则

地理演化涉及很多控制因素,根据其与位置的关系,可以分为宏观属性、局部属性和微观属性。宏观属性描述的是某项属性影响所有元胞的演化,局部属性描述的是邻近空间内所有元胞的某属性均参与元胞状态演化,微观属性描述的是中心元胞某属性直接参与元胞状态演化。若记中心元胞 i 的宏观属性值为 P ,微观属性值为 $Q(i)$,局部属性值为 A_i^t ,邻居元胞的局部属性值为 A_N^t, S_i^{t+1}, S_i^t 分别为元胞 i 在 $t+1$ 和 t 时刻的状态。则考虑了地理特征的 CA 模型的局部演化规则 f 为:

$$f \quad S_i^{t+1} = P \times Q(i) \times f_1(A_i^t, S_i^t, S_N^t, A_N^t)$$

式中, P 的取值根据实际情况作为模型参数调试获得; $Q(i)$ 、 A_i^t 和 A_N^t 的取值根据元胞实体属性表中的相应属性项取值或自动处理后获得。

3 实证研究

3.1 基于地理特征的城市土地利用演化 CA 模型

城市土地利用演化的实质是人为干预下的城市生态景观的自组织机制作用过程,其中,自组织机制是城市土地利用演化的核心动力,地理环境是演化基础,人为干预是调控机制。这里提出城市土地利用演化的“生命机制”概念。与传统城市 CA 模型相比能更贴切地解释城市的自组织机制,最大限度地保证各细胞“欲望”的满足。“欲望”定义为城市生命细胞对适宜自身生存的邻近生命细胞类型的偏好,类型包括居住、商业、工业、仓储、交通及市政设施、政府、休憩、农业、水域、未利用和特殊等

11 种。各类型的细胞具有不同的功能和特性,对周围环境的影响也存在差异,导致各“欲望”存在极大差异。细胞“欲望”随着城市生命系统阶段的演化而演化,反映了土地演化生态组织规律的变化。“欲望”的取值规定为 0、0.25、0.5、0.75 或 1,分别表示厌恶、反感、无所谓、好感和炽爱等感情因素。演化规则的核心是综合邻居空间内所有元胞的“欲望”,在与自身情况综合的基础上选择最受欢迎的

类型作为下一个时段的演化目标。图 1 是基于地理特征的城市土地利用演化 CA 模型元胞状态演化的基本流程,其中, S_i^t 是元胞 i 的当前状态; N_i^t 是邻居的综合“欲望”,体现了邻居元胞对中心细胞 i 下一个状态为何种类型的综合考虑。当元胞时间属性介于两时间阈值之间时,其演化状态由邻居“欲望”还是自身确定由概率计算,大于某阈值由邻居“欲望”确定,小于某阈值则状态不变。

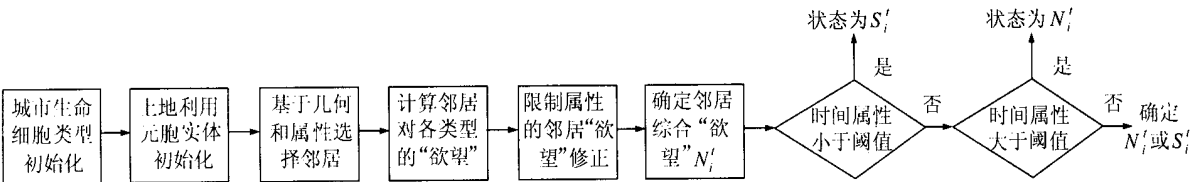


图 1 基于地理特征的城市土地利用演化 CA 模型的元胞状态演化基本流程

Fig. 1 Basic Process of Cell State's Evolution in CA Model on Urban Land Use Based on Geographic Characteristic

3.2 数据处理与主要参数

深圳特区面积 395.81km²,按照每个栅格为 133.4m ×133.4m 的标准划分为 22 231 个栅格。模型涉及到的主要图形数据包括 1994 年(演化基期)和 2001 年(模型评价时间)的特区建设用地分布图、1994 年的交通现状图、1978~2002 年的特区形态演化图、建设用地适宜性图、规划图等。所有地图经过矢量化、统一配准和矢量转栅格后,输入到城市土地利用演化 CA 模型系统中,自动建

立土地元胞实体数据库。演化周期 T 的确定比较复杂,经过大量的反复试验和对比之后,模型中选择 T 值为 1a。各“欲望”参数由专家打分获得。特区发展使得土地演化的生态组织规律也在发生变化,1994~2001 年特区的职能是生产为主,今后 10~15a 特区的发展将更加注意城市生态环境,这些土地演化生态组织规律的变化都体现在“欲望”参数的变化上,见表 1。其中分子为现阶段“欲望”参数,分母为演化了的“欲望”参数。

表 1 各类型土地“欲望”参数演化表

Tab. 1 Parameter Evolutionment of All Types of Land's Desire

适应性		各利用类型的中心土地元胞										
		住宅	工业	商业	政府	仓储	休憩	交通	农业	水域	未利用	特殊
各利用类型 邻近土地元胞	住宅	1	0.25/0	0.25/0	0.5	0.25/0	1	0.75/0.25	0/0.75	1	0.5	0.25
	工业	0.25/0	1	0.5/0.25	0.25	1	0.25/0.5	0.75	0	0	0	0.5
	商业	0.75/0.25	0.5	1	1	0.5	0.25/0.75	1	0	0	0	0.25
	政府	0.25	0.25	1	1	0.25	1	0.75	0	1	0	0.25
	仓储	0.25/0	1	0.25	0.25	1	0.25/0.5	1	0	0	0	0.5
	休憩	1	0.25/0	0.5/0	0.75	0.5/0	1	0.5	0.25	1	0.5	0.5
	交通	0.5/0.25	1	1	1	1	0.25	1	0	0	0	0.25
	农业	0.25/0.75	0.25	0	0	0.25	0.75	0.25	1	0	0.5	0.5
	水域	0.75	0.25	0.5	0.5	0.25	1	0.25	1	1	0.5	0.5
	未用	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	1	0.5
	特殊	0	0.25	0	0	0.25	0.5	0.5	0.5	0	0.5	1

3.3 模型评价及预测结果

模型评价最有效的方法就是看仿真结果和实际数据以及专家估计是否一致。与实际数据对比分为两个层面: 各类型用地栅格量仿真是否真实; 具体某个位置单元的仿真类型是否真实。表 2 中 2001 年模拟误差是各用地类型栅格量的仿真值与实际值的误差绝对值,总建设用地量误差为 1.5%,除了水域误差在 10% 以上外,其余误差均在

7.2% 以内,11 类用地类型平均误差为 4.9%。见封二彩图 1,系统自动统计的各单元土地利用类型仿真误差率为 9.1%。另外,深圳 2020 年国土规划预测的特区 2020 年居住、商业和工业的用地量(栅格)分别为 3 123、1 250 和 1 233,与仿真结果误差很小。因此,模型的模拟效果基本可以接受。根据模型运行结果,未来 10~15a 深圳特区内部土地演化的基本趋势为: 商业和休憩用地在建设用地

中所占比重增加,工业用地比重下降;建设重心有比较明显的西移的趋势,由罗湖向福田和南山延伸;未来的南山区居住和商业用地增加迅猛,盐田区仓储和对外交通用地所占比重较高;工业用地在罗湖和盐田区下降很大,福田略有上升,而南山区则有较大幅度的上升。模型能基本上模拟出特区土地利用的上述特征,原因有两点:一是诸

特征概念比较好地表达了土地单元的实质,其中建设适宜性属性完全界定了土地可能的演化空间,时间属性保证了土地利用的基本稳定性,交通属性表达了各类型用地扩张的方西,规划属性控制了城市空间演化的基本格局;二是基于生命机制的土地单元状态演化规则有效地描述了城市土地利用演化的自组织规律。

表 2 深圳特区用地演化仿真结果表(栅格个数/ %)

Tab. 2 Emulation Data of Land Use Evolvement Model of Shenzhen City

时 间	居住	商业	工业	仓储	交通	休憩	政府	特殊	农业	水域	未用	建设地
1994 年基值	1 728	282	791	186	1 138	419	464	76	231	560	16 356	5 084
2001 年实际值	2 089	944	913	222	1 720	833	641	131	210	692	13 836	7 493
2001 年仿真值	2 022	995	968	215	1 779	888	595	140	212	617	13 800	7 602
2001 年模拟误差/ %	3.2	5.4	6	3.2	3.4	6.6	7.2	6.9	1	10.8	0.3	1.5
2010 年仿真值	2 464	1 117	1 033	294	2 187	1 280	749	85	197	720	12 105	9 209
2020 年仿真值	2 908	1 205	1 137	292	2 284	1 656	824	94	204	691	10 936	10 400

4 结 语

标准 CA 的建模思想包含空间、梯度、流等概念内涵,与经典地理过程分析理论有很大的相似性。但由于标准 CA 是一种更广泛抽象的空间模型,其对地理特征的描述存在一定的局限,限制了其模拟地理过程的能力。将地理特征引入 CA 模型,以一种更逻辑的方式来描述地理空间、空间相互作用对象和局部演化规则,是 CA 和地理过程分析理论的一种尝试。实证研究表明:地理特征 CA 通过元胞实体概念可以详尽地描述空间单元的地理信息,基于几何和非几何属性综合来选择邻居,并将各类限制性属性在模型中进行有效的表达,理论上是可行的;深圳特区土地利用演化 CA 模型的理论基础是城市生态组织理论,模型充分考虑了邻近土地单元对中心单元的演化类型的影响力,以及城市生态组织规律的演化,通过地理特征的 CA 思想对模型进行了有效的表达,仿真结果基本可信,证明建立基于特征的城市土地利用演化 CA 模型进行时空模拟与预测,对于理解城市土地利用演化的发展规律和特征,指导城市决策者的实际工作具有重大的实用价值。当然,基于地理特征的 CA 思想和基于生命机制的城市土地利用演化模型还处于理论尝试阶段,需要进一步深入研究。

参 考 文 献

1 周成虎,孙战利,谢一春. 地理 CA 研究. 北京:科学出版社,1999. 1~163

2 Couclelis H. From Cellular Automatan to Urban Models: New Principles for Model Development and Implementation. Environment and Planning B, 1997, 24:165~174

3 何素芳,罗平,黄耀丽. CA 模型的缺陷及拓展研究. 佛山科技学院学报,2002,20(2):52~56

4 Shi W Z, Pang M Y C. Development of Voronoir-based Cellular Automata —an Integrated Dynamic Model for Geographical Information Systems. Int. J. Geographical Information Science, 2000,14(5):455~474

5 牛文元. 理论地理学. 北京:商务印书馆出版,1992. 104~106

6 陈常松. 地理信息共享的理论与政策研究. 北京:中国科学出版社,2003. 37~38

7 郭仁忠. 空间分析. 武汉:武汉大学出版社,2001. 193~211

8 Luo P, Du Q Y. A Study on Cellular Automata Based on Relational Datavases and Spatio-temporal Simulations of Culture Diffusion. Chinese Geography Science, 2002 (4):359~365

9 罗平,杜清运. 基于关系数据库的 CA 扩展和时空模拟研究. 地理学与国土研究,2002(3)

第一作者简介:罗平,博士生。现主要从事城市动力学模型、城市规划及 GIS 等方面的研究,发表论文 20 余篇。
E-mail:fsluop@163.com

(下转第 512 页)

Change of the Cultivated Land and Driving Forces in Poor Mound Region Based on Spatio-temporal Analysis

HE Guosong¹ ZHU Guorui¹

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract : This paper analyzes the spatio-temporal change of cultivated land by using the dynamic degree of cultivated land and cultivated land center model. Then the driving forces are found by principal component analysis. The result indicates that the growth of population and economic development are dominical factors for the change of cultivated land.

Key words : cultivated land; dynamic degree; driving forces; cultivated land center of gravity

About the first author : HE Guosong, Ph.D candidate, majors in land information system.

E-mail: 1023hegsong@163.com

(责任编辑: 涓涓)

(上接第 507 页)

Cellular Automata Based on Geographic Feature and Urban Land Use Evolvment

LUO Ping^{1,2} DU Qingyun¹ LEI Yuanxin² WANG Tao¹

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Department of Tourism and Geography, Foshan University, 18 Jiangwanyi Road, Foshan 528000, China)

Abstract : This paper attempts to bring the geographic feature concept including geometry and non-geometry attribute to the CA, and constructs the concept model of CA based on geographic feature, and makes a case study on land use evolvment of Shenzhen city. Two conclusions are drawn: CA based on geographic feature is feasible because it can more truly describe geographic information, local spatial relation and evolvment rule; the CA model of urban land use evolvment has great practical value in urban planning.

Key words : geographic feature; cellular automata; urban land use evolvment

About the first author : LUO Ping, Ph.D candidate. His research interests includes urban dynamic model and urban plan and GIS. He has published more then 20 papers.

E-mail: fsluop@163.com

(责任编辑: 平子)

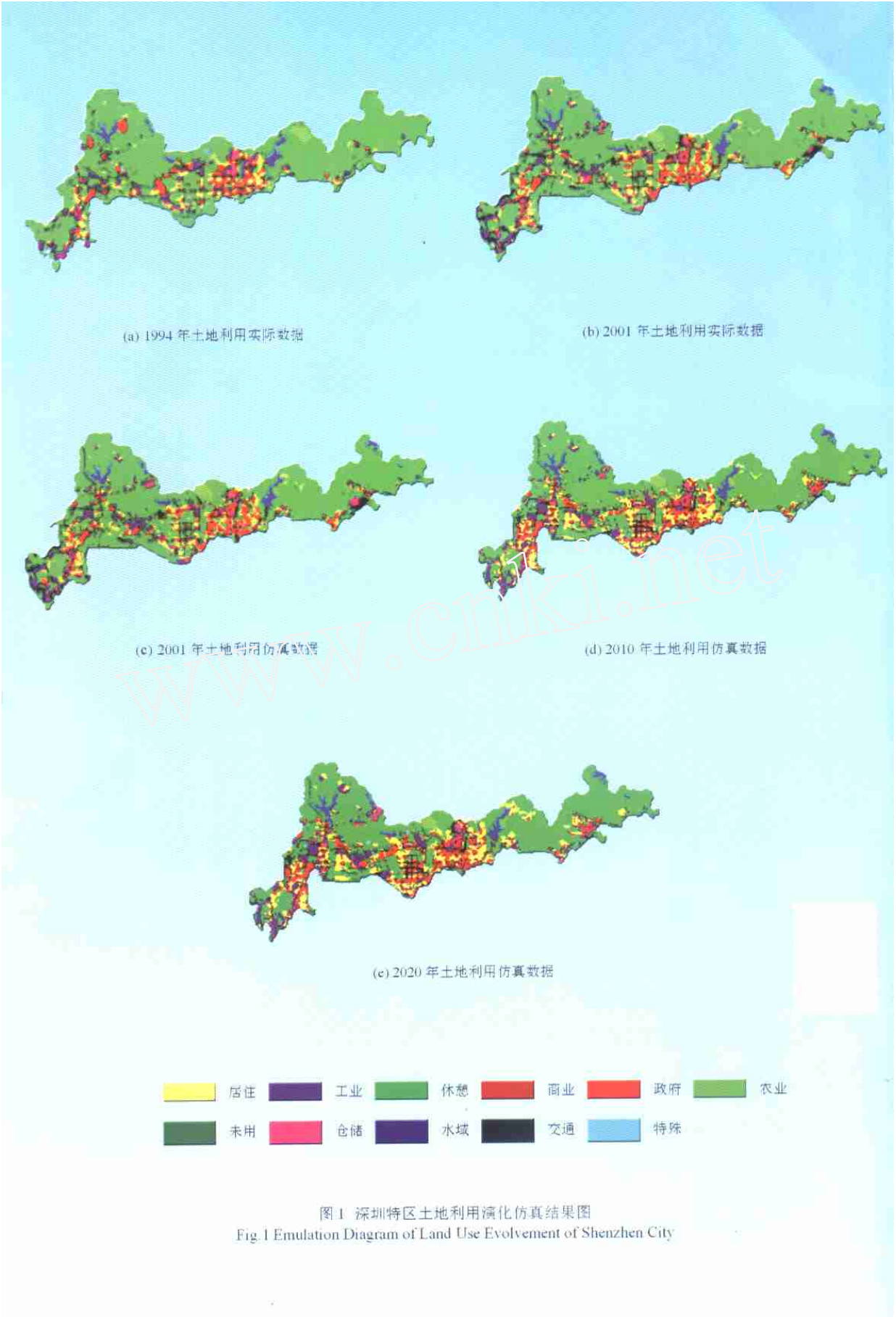


图1 深圳特区土地利用演化仿真结果图
Fig.1 Emulation Diagram of Land Use Evolvement of Shenzhen City