

城市土地利用时空优化

Spatio-temporal Optimization of Urban Land Use

项前 张雷 刘彪 著



中国建筑工业出版社

城市土地利用时空优化

项前 张雷 刘彪 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市土地利用时空优化/项前, 张雷, 刘彪
著. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.6
ISBN 978-7-112-20661-2

I. ①城… II. ①项…②张…③刘… III. ①城市
土地 — 土地利用 — 研究 — 中国 IV. ①F299.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第080087号

在现有的城市土地利用优化研究中, 优化模型往往注重数量结构优化而忽视空间结构优化, 注重经济效益而忽视社会效益和生态效益。更重要的是, 土地利用优化是一个随时间变化的循序渐进的过程, 而现有优化模型缺乏对优化过程中时间序列的考虑。因此, 针对上述问题, 在总结现有研究成果的基础上, 本书提出了城市土地利用时空优化模型和用于求解模型的基于蚁群优化算法的改进型蚂蚁算法(Accumulated Pheromone Acs, AP-ACS)。

土地利用时空优化模型是带有约束条件的多目标优化模型, 包含了五个优化目标, 分别为: 区域GDP、生态服务价值、区域总体兼容度、紧凑度及连接度。在模型约束条件上, 重点加入对时间序列优化的考虑, 提出了两种不同的时间序列优化表达方式: 一是时空动态变化度, 即静态时间序列优化, 反映了每种土地利用类型的年均变化程度; 二是土地利用时间序列动态分配子模型, 即动态时间序列优化, 通过设置不同的子模型参数动态地得到某种土地资源的分配数量, 并以此分配结果作为其所在模型的约束条件。最后, 本书提出Hybrid MAX-MIN方法计算多目标解的适应度, 用于评价多目标解的优劣性。

在对蚁群优化算法进行改进时, 首先总结了算法应该满足的四条原则, 然后有针对性地提出解决城市土地利用时空优化模型的AP-ACS算法。该改进型蚁群算法在信息素的定义、信息素更新规则、解的构建过程及最终解生成方法等方面进行了改进, 并设计了两个特殊的优化算子, 提高优化效率。

最后, 本书将分别以深圳全市及南山区2010年土地利用情况作为实验对象, 采用两种不同的时间序列优化策略, 结合GIS技术, 应用多目标城市土地利用时空优化模型及AP-ACS蚂蚁算法来验证新方法体系的有效性。实验结果表明, 各个优化目标值都有明显的提升, 最终的优化结果也完全满足所有的约束条件。在多目标解评价上, 解的平均适应度值不断升高, 非统治解的个数也在最后一次迭代后达到了最大值。Pareto前沿上的非统治解分布均匀, 并且整体移动趋势显著。实验结果符合预期效果, 验证了模型和算法的高效性, 是具有实际应用价值的。

责任编辑: 徐冉 黄翊

版式设计: 京点制版

责任校对: 焦乐 李欣慰

城市土地利用时空优化

项前 张雷 刘彪 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京京点图文设计公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 7¼ 字数: 150千字

2017年9月第一版 2017年9月第一次印刷

定价: 38.00元

ISBN 978-7-112-20661-2

(30319)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 解决方法	3
1.2.1 可持续发展的思想	3
1.2.2 城市土地空间优化配置	5
1.3 现有研究中的问题	8
1.3.1 优化模型上的不足	8
1.3.2 多目标评价方法上的不足	8
1.3.3 优化算法上的不足	9
1.4 研究目的和意义	9
1.4.1 研究目的	9
1.4.2 研究意义	10
1.5 组织结构	11
第 2 章 研究基础	14
2.1 城市土地利用规划	14
2.1.1 城市土地利用规划的含义	14
2.1.2 城市土地利用规划的原则	15
2.1.3 城市土地利用规划的目标	16
2.2 多目标优化	16
2.2.1 多目标优化问题	16
2.2.2 传统多目标优化方法	17
2.3 智能优化算法	19
2.3.1 传统智能算法	20
2.3.2 进化算法	20
2.3.3 群体智能算法	21

2.4	土地利用优化与 GIS	23
2.5	本章小结	25
第 3 章 城市土地利用时空优化模型		26
3.1	模型研究技术路线	26
3.2	土地利用优化模型的发展	27
3.3	多目标城市土地利用时空优化模型	28
3.3.1	经济优化目标	30
3.3.2	生态优化目标	31
3.3.3	空间优化目标	34
3.4	土地利用时空动态优化	38
3.4.1	动态变化度	38
3.4.2	时间序列动态分配	42
3.5	本章小结	43
第 4 章 多目标优化解评价方法		44
4.1	基本 MAX-MIN 方法	44
4.2	Hybrid MAX-MIN 方法	45
4.3	本章小结	50
第 5 章 多目标蚁群优化算法的改进研究		51
5.1	研究技术路线	51
5.2	蚁群优化算法发展现状	52
5.3	基本蚂蚁算法流程及主要步骤	55
5.4	ACS 算法与 AS 的不同之处	57
5.5	ACS 算法改进	59
5.5.1	信息素定义	59
5.5.2	信息素更新规则	61
5.5.3	局部优化算子	63
5.5.4	解构建流程	64
5.6	本章小结	67

第 6 章 研究实例 68

6.1 深圳概况 68

6.1.1 社会经济概况 68

6.1.2 土地利用概况 70

6.1.3 土地利用总体规划 73

6.2 参数设置 74

6.2.1 优化模型参数设置 74

6.2.2 约束条件设置 76

6.2.3 蚁群算法参数设置 78

6.3 结果分析 79

6.3.1 优化配置结果 79

6.3.2 优化目标分析 83

6.3.3 MAX-MIN 适应度值 86

6.3.4 时空动态变化 88

6.4 时间序列动态分配验证实例 90

6.4.1 参数设置 90

6.4.2 结果分析 91

6.5 本章小结 94

第 7 章 总结与展望 95

7.1 归纳总结 95

7.2 主要创新点 97

7.3 展望 98

参考文献 99

致 谢 108

第 1 章 绪论

1.1 引言

土地资源是人类赖以生存和发展的物质基础,是一切其他物质资源的载体,为人类的生活和生产提供了必要的物质条件。土地覆盖的变化同气候、水源、生物等其他资源的变化相比,更能直观地反映出人类不同时期的社会活动对于自然环境的改造结果。这些改造和人类的其他活动必然导致土地利用/土地覆盖变化(Land Use and Land Cover Change, LUCC)的同时,也影响着生态环境和气候的变化,这些变化反过来又对人类社会的可持续发展产生重大的作用^{①②}。特别是未来 50 ~ 100 年,随着人类科技的进一步发展,人们在土地上的活动和对土地本身的改造都将对 LUCC 起到最主要的作用。可以说,在某种程度上,人类社会的进步和发展就是在与土地的交互过程中实现的。

然而,随着世界人口的不断增长和对物质需求的迫切愿望,对土地资源的需求似乎是无止境的。而土地作为不可再生的稀缺资源,已经成为制约各国经济发展的主要因素之一,人地之间的供需矛盾也日益激烈起来,严重威胁人类社会可持续发展的愿望^③。近一二十年来,由于人类对地球,主要是土地资源的无规划、无环保意识的过度开发,已经让人类品尝到了自酿的苦果。例如,由全球气候变化引起的异常天气(厄尔尼诺现象和拉尼娜现象等),由二氧化碳急剧增加而引起的温室效应,由大量使用氟利昂而产生的臭氧空洞,等等。

近些年来,无论是人地矛盾,还是由此引起的灾难性后果,都在我国表现得尤为突出。作为世界第一人口大国和经济持续增长速度最快的国家,对各种有利于发展经济的资源尤其是对作为物质基础的土地资源的需求量是可想而知的。长期以来,我国一直以经济建设为首要发展目标,从而忽视了其他各个方面的和谐发展问题。而我国快速的城市化进程,又把这些矛盾集中体现在城市对土地资源的需求和利用上。由于工业的发展和人们对住宅条件要求的提高,城市化过程对土地资源的需求激增,对土地资源的掠夺式开发和利用时有发生。加之过去对土地资源开发又很少有科学的、合理的长远规划,在过度开发之后,不仅生态平衡遭到了破坏,人们的生存空间和经济持续发展的潜力也将消

① 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆盖变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 15(6): 553-558.

② Rindfuss R., et al. Developing a Science of Land Change: Challenges and Methodological Issues[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2004, 101(39).

③ 温占军, 晏晓红, 耿冯康. FAO 可持续土地资源管理综合规划指南及启示[J]. 农业工程学报, 2005, (21): 142-145.

耗殆尽^{①②③④}。长此以往,我国经济和社会发展将受到制约,这样既不能满足人们对更好生活的向往,又不符合国家以人为本的经济发展模式。所以,如何解决城市发展中的
人地矛盾,释放城市发展空间,使社会和经济实现可持续发展,已经成为全社会关注的
焦点。总结我国整体土地资源利用情况,存在的问题主要有:

- (1) 土地资源总量虽大,但总体质量不高;
- (2) 分布不均衡,尤其是水与土地资源匹配状况差;
- (3) 大量耕地被占用,威胁粮食安全;
- (4) 工业化、城市化进程快,土地需求激增;
- (5) 规划不佳,土地利用水平低。

这些问题无不制约着我国经济发展的步伐,使我国面临着发展与保护、供给与需求
的双重压力。如何有效地通过科学、合理的土地利用规划方法,实现土地资源的优化配
置,协调经济、社会、环境之间的矛盾,已经成为我国乃至世界相关研究领域的热点问题。
特别是在国家“十一五”发展纲要中也对此作了明确要求。纲要认为,发展必须是科学的,
要坚持以人为本,创新发展模式,提高发展质量,把社会经济发展切实转入协调可持续
发展的轨道。把节约资源作为基本国策,发展循环经济、保护生态环境和居住环境,促
进经济发展与人口、资源、环境相协调。正因为如此,才迫切需要开展系统的城市土地
利用空间优化研究,为解决上述问题提供技术支持。

城市土地利用空间优化配置是一个复杂的系统过程,它要求根据不同的目的把现有土
地资源合理地分配成各种土地利用类型(如耕地、林地、草地、建设用地、水体等),分
配策略不仅要从数量上考虑每种土地利用类型的面积,也要从空间上考虑每种土地利用
类型应该分配在何处。这是一种典型的空间决策问题,又是一种多目标优化问题,而且
随着土地利用类型的增多、优化目标的增多,抑或是约束条件的加入,都会使解决这类
优化问题的难度呈几何级数增长。这不仅是对现有土地利用优化模型的挑战,也是对求
解模型的优化算法的考验。同时,随着 3S (GIS, RS, GPS) 技术的发展成熟,与 3S 技
术的结合也已经成为解决土地利用优化问题重要的技术方法^⑤。因此,如何利用 3S 技术更
好地为解决此类问题提供支持,也是值得关注和研究的关键技术领域。

① Leccese M., McCormick K., ed. Charter of the New Urbanism[M], McGraw – Hill, 2000.

② Silberstein J., Maser C. Land-Use Planning for Sustainable Development[M]. Sustainable Community Development Series, CRC Press LLC, 2000.

③ Ward D.P., Murray A.T., Phinn S.R. Integrating Spatial Optimization and Cellular Automata for Evaluating Urban Change[J]. The Annals of Regional Science, 2003, 37: 131-148.

④ Williams K. Does Intensifying Cities Make Them More Sustainable? Achieving Sustainable Urban Form[M], Taylor & Francis, London:E & FN Spon, 2000: 30-45.

⑤ Richard L. Church. Geographical Information Systems and Location Science[J]. Computers & Operations Research, 2002, 29: 541-562.

面对我国土地资源分布及利用情况中存在的问题,我们可逐一分析并提出相应的解决方案。问题(1)和(2)主要是指土地资源整体质量不高的情况。这是由我国特殊的地理环境造成的。换句话说,土地资源质量是土地自身的固有属性,改造难度极大。所以,在现有人力、物力、财力及科技水平下,在短时间内依靠改变土地属性和地理环境来解决土地资源紧张的问题是不现实的。问题(3)和(4)主要是指由于土地需求激增而引起的侵占其他用地的问题。众所周知,粮食安全是立国之本,不容威胁,必须使耕地面积在“安全红线”以上,一味地靠占用农用地来解决城市用地问题,治标不治本,而且后患无穷。所以,要缓解我国尤其是城市土地供需紧张的状况,实现科学发展观的要求,在不牺牲经济建设和不侵占农田的前提下,唯有从第五点入手,即科学、合理地规划现有土地资源,提高土地利用效率,实现土地资源的优化配置和可持续利用。

要实现合理规划城市现有土地资源这个目标,要从两方面入手:一是思想上,要树立土地利用可持续发展的理念,即土地利用的科学发展观;二是利用科学合理的优化模型及算法,并辅以先进的科技手段,对现有土地资源进行优化配置,实现土地可持续利用。

1.2 解决方法

1.2.1 可持续发展的思想

“可持续发展”的理念最早可追溯到1972年,在当年举行的联合国人类环境研讨会上,这个概念被正式提出,后经各个国家不断地研究和发展,“可持续发展”的概念涵盖了国际、区域、地方及特定类别的层面。目前,最广泛采纳的定义是1987年由世界环境与发展委员会所发表的《布伦特兰报告》提出的,即“既满足当代人的需求,又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”。在这个框架下,可持续发展的定义包含了经济、社会、资源和环境保护协调发展几个方面,它们是一个密不可分的系统。既要达到发展经济的目的,又要保护好人类赖以生存的自然资源和环境,使子孙后代能够永续发展和安居乐业。在人类社会面临诸多挑战的时候,可持续发展为我们提供了一种崭新的生存与发展方式。实现可持续发展,就必须遵循以下两个基本原则。

1. 公平性原则

可持续发展应该首先追求公平性,强调所涉及领域的各个方面的共同发展,而不是只注重于某些部分的单独发展。公平性包括两个层次,一是本代人的公平,即不论高低贵贱,都有满足其自身需求的权利和公平的发展空间;二是代际间的公平,即本代人不能因为自己的发展与需求而损害后代人满足需求的条件——生存环境和自然资源,要给予子孙后代以公平利用自然资源的权利。

2. 可持续性原则

“人类的经济建设和社会发展不能超越自然资源与生态环境的承载能力”是可持续性

原则的核心思想。除了强调公平性之外,也应该考虑到人类发展对自然资源的消耗速率是否到达了临界点。人类不能过度生产或过度消费,必须根据可持续性原则调整生活方式,制定消耗标准,保护环境,以维持生态平衡,使人类发展得以永续。

按照可持续发展思想的指导,城市土地资源作为人类生产、生活的物质基础,也必须坚持走可持续发展的道路,这条道路就是土地利用可持续发展的思想。土地可持续利用这一思想是 1992 年 2 月在新德里召开的首次国际土地持续利用系统研讨会上正式确认的,随后的“发展中国家持续土地管理评价”和“21 世纪持续土地管理”国际学术研讨会共同确立了土地可持续利用的五大原则和评价纲要,也定义了土地可持续利用是指当代人的土地利用不能对后代人的土地利用构成危害。从定义中,我们可以看出土地可持续利用具有以下几个特点:一是时间的动态性。它要求我们在对土地利用进行分析时不仅要考虑起点时间和起始状况,而且要考虑一定时期内满足人类的需求目标。二是协调性。除了关注区域内土地的高效、科学利用,还应该实现区域内土地利用的经济、社会和生态效益的协调发展。三是空间尺度性。土地资源是具有空间属性的,土地可持续利用也应该从空间属性方面对土地展开规划配置。

综上所述,本书将紧紧抓住土地可持续利用思想的核心,无论是优化模型的设计,还是智能算法的构建,都以能够使土地资源可持续利用为目标。因此,本书写作的出发点也集中于此:

(1) 土地利用可持续发展的前提是发展。

只有以经济建设为中心,积极地谋求发展,不断推进城市化进程,才能使人类社会得到进一步发展。只有在不断发展的情况下,才能为解决人类和生态环境的矛盾提供必要的物质基础。

(2) 土地利用可持续发展的核心是可持续。

可持续性意味着对土地的开发利用要能够永续地进行下去,即当代人要尊重后代人继续进行土地开发的权利。人类的发展离不开土地资源和良好的生态环境,而土地资源的多寡和生态环境的好坏又决定了发展的可持续性,这是一个相辅相成、永远循环的过程。所以,我们要树立城市土地利用可持续发展的意识,为后代人保留土地发展的空间。

(3) 保障土地利用可持续发展的手段是优化配置。

城市土地利用优化配置是保证城市土地资源可持续发展的重要手段。土地资源优化配置不仅能够解决各种土地利用类型的分配数量问题,而且也能够对其空间布局进行优化。科学的优化配置可以弥补市场失灵、土地资源随意开发带来的不利影响。合理配置有限的城市公共资源,亦能促进城市经济社会可持续发展。

(4) 保障土地利用可持续发展的工具是先进的科技手段和优化方法。

随着科技的不断进步,计算机技术和 3S 技术亦得到了长足的发展。利用 RS 技术,可以对城市土地利用情况进行实时监督;利用 GIS 技术,可以收集、存储、显示和分析海

量的空间数据,及时发现问题;利用GPS技术,可以精确地定位出现问题的地点和范围;利用计算机技术,可以快速获得解决问题的方法。

(5) 土地利用可持续发展的目标是提高生活质量。

无论对城市土地资源进行怎样的优化和配置,其最终目的就是为人类社会服务,力求经济、社会和生态的全面发展,不断提高人们当前的生活质量。同时,又要为后代人负责,为他们生活质量的提高留有空间。

1.2.2 城市土地空间优化配置

要解决城市土地资源供需紧张、利用不合理及效率低下的问题,土地资源空间优化配置是重要的技术方法和实施手段^{①②}。在作者了解的范围内,目前国际上还没有统一的土地利用优化配置的概念。因此,本书经过仔细分析和总结,提出了自己的定义,即城市土地利用空间优化配置被定义为:以社会经济的可持续发展和土地资源的可持续利用为目标,采用先进的科技手段和优化方法,对城市一定区域内未来土地利用所作的超前的计划和安排,以使土地利用朝着良性循环的方向发展,使社会经济建设和生态环境建设在土地利用上得到统一和协调,促进经济效益、社会效益和生态效益等多目标的共同协调发展。

在现阶段,尽管不同的定义在表述上有所差别,但其核心内容是一致的。然而,人们对土地利用空间优化的认识并不是从一开始就是这样的,而是一个逐渐加深认识、逐步积累而成的过程。世界范围内针对LUCC的研究起步较早,向上可追溯到19世纪。但直到20世纪上半叶,土地利用规划也只是传统的建设性或蓝图规划,土地利用结构优化尚未得到充分的认识。在过去的几十年里,随着可持续发展概念的提出和3S技术的不断发展和完善,使土地利用优化发展到了一个新的水平,国内外不断有新的理论方法和优化模型涌现出来,其核心目标也转换成土地利用/土地覆盖变化对全球及区域生态系统的影响。

在基础理论上,其他学科诸如人地协调理论、生态经济学、经济地理学等也已经融入土地利用规划的基本理论。王万茂^③和吴次芳^④等人认为土地规划所追求的不应该仅仅是经济效益,还应该同时考虑社会效益及生态效益;Plummer^⑤等人也指出,土地利用规划应该以达到规划区域内的生态经济最优为目标,而传统的只追求经济利益最大化的发展

① Ward D.P., Murray A.T., Phinn S.R. Integrating Spatial Optimization and Cellular Automata for Evaluating Urban Change[J]. The Annals of Regional Science, 2003, 37: 131-148.

② Benabdallah S., Wright J.R. Multiple Subregion Allocation Models[J]. Journal of Urban Planning and Development, 1992, 118(1): 24-40.

③ 王万茂. 土地利用规划学[M]. 北京: 中国大地出版社, 2000.

④ 吴次芳. 20世纪国际土地利用规划的发展及其新世纪展望[J]. 中国土地科学, 2000, (1): 15-20.

⑤ Plummer L.N., Michel R.L., Thurman E.M., Glynn P.D. Environmental Tracers for Age Dating Young Ground Water[M]. Regional Ground-Water Quality. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993: 255-294.

模式已经不能满足土地利用规划多目标发展的趋势;Huang^①、Hao 和 Ren^② 等人从土地利用 / 土地覆盖变化机理和引起 LUCC 变化的因素出发,对土地利用变化进行研究。

在优化模型上,传统方法主要集中于线性规划法(LP)和系统动力学(SD)等方法。在国内外,已经有许多学者应用LP模型对土地利用结构优化进行了研究,并取得了丰硕的成果。其中,刘彦随等人研究了土地资源结构优化配置的系列模型方法^③;耿红在模糊概念基础上对灰色线性规划模型进行了研究^④;但承龙等人^⑤以获得土地利用的耦合效益最大化作为土地可持续利用规划的核心目标,建立了基于灰色线性规划的耦合模型;秦钟等人以广州市为例,根据1999~2010年十年间的土地利用转移矩阵,运用SD模型和Stella软件对研究区域内的土地利用结构进行了模拟和预测;在国外,研究模型也同样主要集中于线性规划模型、目标规划模型等,这些方法的主要目的是为每种土地利用类型选择合适的空间位置和合理的面积;Stewart等人是较早把线性规划模型应用于土地利用规划中的研究者之一^⑥,他们关注的焦点是数量结构优化和多目标决策系统;Chuvieco^⑦和Arthur^⑧等人同样利用LP模型对空间土地利用规划方法进行了研究。

在优化目标方面,从目标数量上看,已经完成了从单一目标优化向多目标优化的转换;从目标内容上看,也已经从主要集中于数量结构规划转向数量与空间结构并举的优化策略^⑨,相关的研究也非常丰富。Theodor等人^⑩以每种土地类型的聚集群数(Numbers of clusters for each land use)、最大聚集群的相对重要度(Relative magnitude of the large stcluster for each land use)和紧凑度(Compactness of land uses)为空间优化目标对土地利用进行规划;Xinhao Wang等人^⑪建立了IFMOP模型,该模型分别以经济、森林覆盖率、

① Huang B., Zhang L., Wu B. Spatiotemporal Analysis of Rural-Rrban Land Conversion[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2009, 23(3): 379-398.

② Hao H.M., and Ren Z.Y. Land Use/Land Cover Change (LUCC) and Eco-Environment Response to LUCC in Farming-Pastoral Zone, China[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(1):91-97.

③ 刘彦随. 土地利用优化配置中系列模型的应用[J]. 地理科学进展, 1999, 18(11):26-31.

④ 耿红, 王泽民. 基于灰色线性规划的土地利用结构优化研究[J]. 武汉测绘科技大学学报[J], 2000, 25(2):167-171.

⑤ 但承龙, 厉伟, 王启仿. 土地资源可持续利用规划耦合模型研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17(4):244-246.

⑥ Stewart T.J. Use of Piecewise Linear Value Functions in Interactive Multicriteria Decision Support: A Monte Carlo Study[J]. Management Science, 1993, 39:1369-1381.

⑦ Chuvieco E. Intergration of Linear Programming and GIS for Land Use Modelling[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1993, 7(1):71-83.

⑧ Arthur J. L. Clarification on the Use of Linear Programming and GIS for Land-Use Modelling[J]. International Journal of Geographical Information System, 1997, 11 (4) .

⑨ Plummer L.N., Michel R.L., Thurman E.M., Glynn P.D. Environmental Tracers for Age Dating Young Ground Water[M]. Regional Ground-Water Quality. New York :Van Nostrand Reinhold, 1993: 255-294.

⑩ Theodor J.S., Ron J., Marjan V.H. A Genetic Algorithm Approach to Multiobjective Land Use Planning[J]. Computers and Operations Research, 2004, 31:2293-2313.

⑪ Wang X.S., Liu J.Y., Zhuang D.F., Wang L.M. Spatial-Temporal Changes of Urban Spatial Morphology in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(3):392-400.

土地流失和水资源质量为优化目标进行土地利用优化;在 Balling 等人的文章中^①,提出了三个优化目标,即最小化土地利用转换成本、最小化交通总时间和最小化土地利用变化,这三个优化目标分别从成本、交通时间和空间上对土地利用进行优化配置;Steven 等人^②的研究则更注重空间方面的优化目标,其首先考虑了最大化基础设施承受度,其次考虑了最小化区域密度以实现城市最小化扩展,最后作者认为城市建设应该是紧凑的,所以要最大化城市紧凑度。总之,无论土地利用优化目标如何设置,都可将其归结为两方面。第一方面,从空间属性讲,可将优化目标归结为空间上的和非空间上的;另一方面,从涉及领域上讲,可归结为社会领域、经济领域、生态领域等。因此,我们不难看出,城市土地利用优化问题是一种典型的多目标优化问题。

在优化算法上,随着以遗传算法(GA)、蚂蚁算法(AA)为代表的群体智能优化算法的发展和成熟,此类方法在土地利用优化中已经取代了传统优化算法,得到了广泛认可和应用,特别是遗传算法^③。刘艳芳等人^④以遗传算法为基础,构建出一套土地利用结构优化的多目标线性规划模型,并应用 Pareto 方法进行计算;郭鹏等人^⑤建立的遗传算法模型考虑了土地功能协调性、土地比例协调性、人口和交通四个方面,优化结果很好地符合城市规划的各种需求;Theodor 等人以 Netherlands 地区为例,在 GA 模型中加入了三个空间优化目标,最终建立了土地利用决策支持系统^⑥,其还利用启发式算法解决了土地利用空间分配问题。另外,一些其他算法也被应用于土地利用优化,例如 GA 与神经网络的结合;GA 与禁忌搜索(TS)的结合;模拟退火方法(SA)与 LP 的结合;GIS、元胞自动机模型(CA)和系统动力学(SD)模型结合。

在技术层面上,由于土地是典型的具有空间属性的物质,所以,3S 技术,尤其是 GIS 技术在土地利用规划上也得到了广泛应用。这主要源于两个方面:其一,3S 技术是获取和管理土地利用信息的重要手段。由于规划区域往往范围广,数据量大,传统方法难以满足现实需要。只有通过 3S 技术,才能对包含空间数据在内的大量信息进行收集、管理、分析、显示及存储。其二,各种模型和方法只有在借助 3S 技术的显示及空间分析等功能以后,才真正具有实际应用价值。例如,Chuvieco 等人就把研究焦点主要集中于 GIS 在

① Balling R.J., Taber J.T., Brown M.R., Day, K. Multiobjective Urban Planning Using Genetic Algorithm[J]. Journal of Urban Planning and Development, 1999, 125(2):86-99.

② Steven A.G., Jose A.F., Glenn E.M. A Multiobjective Optimization Approach to Smart Growth in Land Development[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2006, 40(3):212-248.

③ Osman M.S., Abo-Sinna M.A., Mousa A.A. An Effective Genetic Algorithm Approach to Multi-objective Resource Allocation Problems[J]. Applied Mathematics and Computation, 2005, 163:755-768.

④ 刘艳芳, 李兴林, 龚红波. 基于遗传算法的土地利用结构优化研究 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2005, 30(4):288-292.

⑤ 郭鹏, 薛惠锋, 赵宁, 张凡. 遗传算法在土地利用优化中的应用 [J]. 计算机仿真, 2005, 22(11).

⑥ Theodor J.S., Ron J., Marjan V.H. A Genetic Algorithm Approach to Multiobjective Land Use Planning[J]. Computers and Operations Research, 2004, 31:2293-2313.

土地利用优化上的应用^①;Hopkins^②、Brai^③及 Collins^④等人的研究主要集中于关于土地利用的 GIS 制图及空间分析;基于 GIS 的土地利用适宜度分析也同样备受关注^⑤;GIS 在土地利用相关的应用领域还包括景观评估、环境影响因子评估、区域规划等。另外, GIS 也被应用于与优化算法的结合上,例如,模糊逻辑法与 GIS 的结合;人工神经网络与 GIS 的结合;GA 与 GIS 的结合等。

1.3 现有研究中的问题

1.3.1 优化模型上的不足

第一,传统模型大多以经济效益最大化作为优化目标或主要优化目标,而忽略了土地利用规划所涉及的社会效益、生态效益。按照“可持续发展”思想的要求,土地利用规划应该让经济、社会、资源和环境协调发展,它们是一个密不可分的有机整体,既要达到发展经济的目的,又要保护好人类赖以生存的自然环境。

第二,传统模型往往注重对每种土地利用类型数量结构上的优化,而轻视空间分布上的优化。土地利用数据是具有空间属性的数据,其空间性是一直伴随土地而存在下去的。撇开或者轻视土地空间性而对其进行规划都是不完整的,是没有实际意义的。

第三,现有规划模型缺乏对时间维度的考虑,难以应用到实际规划中去。现有的土地利用规划模型一般是“一步到位”式的,即模型的优化结果仅仅是得出几个最终的候选规划方案而已,也就是从当前状态直接跳到了最终的目标状态,缺少对规划中间过程的描述。而在实际的土地利用规划中,从开始实施规划到实现规划目标是一个循序渐进、逐步实现的过程,是由以规划目标为导向的、以时间为序的一系列规划阶段组成的。

1.3.2 多目标评价方法上的不足

在多目标优化模型中,各个目标往往并不是一致变化的,而是呈现“此起彼伏、此消彼长”的状态。因此,如何评估每个解的优劣,一直是学术界研究的热点问题。现有方法主要包括加权平均法、妥协法、西格玛约束法等。然而,这些方法的主要缺点也是显

① Chuvieco E. Intergration of Linear Programming and GIS for Land Use Modelling[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1993, 7(1):71-83.

② Hopkins L. Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation[J]. Journal for American Institute of Planners, 1977, 34 (1):19-29.

③ Brail R.K., Klosterman R.E. Planning Support Systems[M]. Redlands:ESRI Press, 2001.

④ Collins M.G., Steiner F.R., Rushman M.J. Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements[J]. Environmental Management, 2001. 28 (5):611-621.

⑤ Pereira J.M.C., Duckstein L. A Multiple Criteria Decision-Making Approach to GIS-Based Land Suitability Evaluation[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1993, 7 (5):407-424.

而易见的。在加权平均法中,通过把多目标优化问题中的各个目标值转换成单一值来区分优劣,权重主要依靠专家经验和规划者的意图来打分,这种方法一是主观性太强,缺乏客观的评判标准;二是每次规划都需要打分,不利于系统化操作。在妥协法中,通过计算优化解与理想解的“距离”来评价解的优劣。这种方法计算虽然简单,但“什么是理想解”在有些时候难以确定。而西格玛约束法的最大缺点是计算开销大,时间长,不利于具有太多优化目标的复杂问题求解。

1.3.3 优化算法上的不足

当前,在解决多目标优化问题的方法中,人工智能(AI)算法无疑是性能最出色的方法。而在众多智能算法中,又以遗传算法和蚂蚁算法最为先进。目前,相对于蚂蚁算法,遗传算法被较多地应用于解决土地利用优化问题。这两种启发式算法共同的不足之处是:它们主要被应用于解决组合优化问题,所以与之相关的研究和文献很多,而直接被应用于土地利用规划的研究和文献却不是很多,大多研究也仅仅是停留在研究阶段,实际应用性不强,也很少有专门针对土地利用规划问题而提出的改进型优化算法、优化算子和局部搜索方法。

1.4 研究目的和意义

1.4.1 研究目的

针对前文所述的现有研究中存在的问题,本书的研究目的主要有以下几点。

1. 建立城市土地利用时空优化模型

主要包括优化目标选择、约束条件和时间序列优化三个部分。首先,优化目标选择在保留传统强调经济效益优化和数量优化的同时,重点加入能够反映区域空间结构布局优化的目标。同时,选取典型的衡量生态、环境的优化指标到模型中。最终,在优化结构上,实现从数量结构到空间结构的优化;在优化内容上,实现从经济到生态、环境的优化。

其次,在约束条件上,本书将重点分析可能的限制和约束条件对优化过程、优化结果和算法复杂度的影响,从使模型具有实际应用价值的角度出发,设置每种土地利用类型的限制和约束条件。这些约束条件主要体现在土地利用类型的数量和空间结构等方面。

最后,针对传统的土地利用优化模型没有从时间的角度考虑优化过程的问题,本书将时间序列与GIS技术相结合,从以下几个方面进行阐述:

(1) 时间序列对土地利用优化过程和结果的影响;

(2) 时间序列在土地利用优化上如何体现,如何加入到优化模型中,如何定义、量化和计算;

(3) 如何在时间序列分析中应用 GIS 技术。

2. 构建多目标评价方法

多目标优化问题中的优化目标不仅经常相互排斥、向不同的方向发展,而且,目标性质也不相同(有的最大化,有的最小化),这就给解的评价带来了不小的难度。另外,现有的多目标评价方法尽管有多种,但一般都加入了人工干预(如赋予权重、目标值排序等),这些方法不能够很客观地反映解的优劣程度。本书将以 MAX-MIN 方法为基础,在研究分析该方法原理的基础上,改进 MAX-MIN 方法,使其更具通用性,主要表现在:

(1) 在评价解时,可以选择是否加入人工干预,实现主、客观评价通用性;

(2) 在应用时,无需考虑优化目标的性质和目标值转换问题,直接应用即可,实现应用通用性。

3. 构建土地利用优化蚂蚁算法

重点研究和分析蚂蚁算法在解决土地利用优化模型上的可行性及具体应用方法,主要研究内容有:

(1) 从蚂蚁算法本身分析其在求解土地利用优化模型上的可行性。从解的构建、运行过程、运行效率等多个方面进行对比分析。

(2) 在与模型的结合上,特别是与时间序列的结合上,研究蚂蚁算法具体的使用方法。

(3) 针对土地利用优化问题的特点,重新设计和定义蚂蚁算法的信息素以及信息素更新规则。

(4) 针对模型中的优化目标,设计更具针对性的局部优化方法(local search)和优化算子,在避免“早熟”现象发生的前提下,加快算法收敛速度,提高效率。

1.4.2 研究意义

1. 完善了城市土地利用优化模型研究

通过建立多目标城市土地利用时空优化模型体系,丰富了相关领域的研究成果。该模型体系既能够从空间和非空间的角度进行考虑,也能兼顾传统研究中的关于经济和生态的优化目标,同时又增加了以前这类研究中从没有考虑到的有关时间序列优化方面的内容。可以说,本研究的城市土地利用时空优化模型体系既是对现有研究的总结,又对现有研究进行了开创性的丰富和拓展。

2. 改进蚂蚁算法

从蚂蚁算法的运行机理上进行改进,包括信息素定义、解的构建过程、最终解生成方法等。同时,针对土地利用优化问题的特点,有针对性地设计了优化算子和局部搜索方法,并成功用于对该类优化问题的求解过程。本研究虽然不是第一个把蚂蚁算法引入到解决土地利用优化问题中来,但却是一次比较完整地、系统地阐述和论证了将蚂蚁算法应用在土地利用优化问题中的可行性的、具有比较优势和具体的应用方法。

3. 促进 GIS 与土地利用优化的结合

应用城市土地利用优化模型得到的优化结果需要借助 GIS 技术进行显示和对比分析,并将分析结果再反作用于模型的参数设置上,使优化模型更加贴近实际,从而实现了土地利用优化过程的反馈调节机制,将城市土地利用优化模型和 GIS 紧密地联系在了一起。

4. 为合理规划现有城市土地资源提供支持

通过本书提出的模型体系和与 GIS 的集成应用成果,可以辅助城市规划人员进行相关规划研究和实施具体的规划工作,从而调节人与土地、人与生态及经济发展与环境保护之间的矛盾,统筹诸多相关领域的协调发展,为更快、更好地实现城市土地资源可持续利用提供了科学合理的技术支持。

1.5 组织结构

以现有研究为基础,在充分了解和总结土地利用规划、优化算法、多目标解评价的相关原理、方法之后,本书从三个方面对城市土地利用时空优化进行研究和阐述:一是建立城市土地利用多目标时空优化模型。在该优化模型中,优化目标的设置将从经济、生态和空间结构三个方面来考虑,使模型能够综合地反映出优化区域的整体规划水平。通过约束条件的设置,使模型能够灵活地模拟各种规划方案,尤其是时空约束条件的加入,使模型能够同时从数量结构、空间结构及时间序列等三个方面进行优化,这样更贴近实际规划过程,模型的实际应用价值大大增强。二是建立以 MAX-MIN 方法为基础的多目标优化评价方法。首先对比和分析传统多目标评价方法的适应条件和优缺点,再有针对性地分析传统方法的不足之后,提出通用性更强、适应范围更大的多目标评价方法。新方法以 MAX-MIN 方法为基础,在研究和分析其评价原理之后,提出改进型的 MAX-MIN 方法——Hybrid MAX-MIN 方法。通过对新方法性质、特点的分析,验证其在评价多目标优化解时的优越性和高效性。三是改进蚁群优化算法,使之更适合求解土地利用优化模型的计算和表达。首先阐述蚂蚁算法的发展历史和运行机理,研究各改进型蚂蚁算法的特点及其局限性;再以蚁群算法为基础,通过修改信息素的构建方法、信息素更新规则及最终规划方案的产生方法来建立适合土地利用优化的蚁群系统;最后,根据不同的发展方式提出两种土地利用优化算子以辅助蚂蚁算法进行求解。在完成了模型的构建和算法的改进之后,以深圳市为研究区域,以全市和南山区的土地利用情况为研究对象,应用城市土地利用多目标时空优化模型、多目标评价方法及改进的蚁群算法对其进行优化。最后,借助 GIS 技术展示和分析优化结果,并从优化目标、适应度值及时空动态变化等方面验证新方法体系的有效性。综上所述,本书的总体研究路线如图 1-1 所示。