

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.06.021

城镇演变与道路网一体化多目标决策模型

马健霄 韩宝睿 吴 颖

(南京林业大学汽车与交通工程学院 江苏 南京 210037)

摘要 :为使城镇演变过程中道路网布局规划方案更为合理 ,简化布局评价、优化、调整的程序 ,以城镇规划年利用道路网出行的交通费用与规划所需投资建设总费用最小为目标 ,构建了城镇用地规划和道路网设计一体化多目标决策模型 .根据遗传算法对该模型条件与处理方法进行了改进 ,对目标函数进行了简化 ,给出了具体算法及分析过程 .仿真实例分析表明 ,该决策模型在实际应用中是可行的 ,能生成多套道路网布局规划方案 ,规划决策者可依据多准则决策方法或不同优化目标 ,选择适时的道路网布局方案 .

关键词 :交通规划 城镇道路网 道路网布局规划 多目标决策模型

中图分类号 :U412.1 **文献标识码 :**A **文章编号 :**1000-1980(2009)06-0716-05

基于既定的发展目标和控制准则 ,对城镇规划年用地和道路网进行一体化布局规划是新建城镇道路网系统规划所要解决的具体问题之一 .然而在实际规划中 ,人们大多以自己的定性分析和主观判断来制定规划方案 ,无法获取完整、客观的优化方案 .本文通过把城镇道路网规划时空费用与城镇空间演变相结合 ,基于多种因素考虑 ,构建了道路网设计一体化多目标规划选择优化模型 ,采用系统优化方法 ,对道路网优化选择方法进行了研究 ,并生成多套可供选择的布局规划方案 ,使得优化调整程序简化 ,并在大城市周边城镇道路网系统规划中得到应用 .

1 建模思路

城镇道路网规划与设计同城镇土地用地规划相平行 ,涉及规划决策者和公众的相互作用或他们之间的联合决策行为 ,是一个典型的双层决策问题^[1-2] .由于新建镇与老城镇改造的现实条件不同 ,道路网整体处于规划与设计阶段 ,无法准确获取城镇居民出行信息 ,更无法获得反映道路实际使用情况的交通数据 ,因此城镇道路网系统规划优化方法应从决策的层次、系统的角度给出多套用地布局和道路网设计方案 ,根据出行需求预测 ,选取符合城镇道路网规划与城镇空间发展特定目标的规划方案 ,满足原则性标准要求(即可预见性规划与设计) ,使道路网实施后即使出现偏差也可用其他备选方案做进一步的调整 .

城镇空间演变与城镇道路网一体化规划设计目标很多 ,构建优化模型时全部考虑是不现实的 .本文主要考虑各功能地块在空间上的总协调性最大和道路网系统总费用(前期建设费用与总体出行费用)最小 2 个目标 .

构建模型时 ,引入出行距离作为交通函数的参变量 ,通常采用幂函数与指数函数进行构造^[3] ,即

$$T_{ij} = d_{ij}^{\beta} \quad T_{ij} = e^{\beta d_{ij}} \tag{1}$$

式中 : T_{ij} ——交通函数 ,是 i 区与 j 区之间的各出行距离量占总体出行量的概率 ; d_{ij} —— i 区与 j 区间的出行距离 ; β ——函数参数系数 ,采用汉森研究确定的经验系数 ,变化范围为 0.5 ~ 3 .

指数函数适合分析短距离空间相互作用 ,幂函数更适合分析长距离的空间相互作用 .本文结合城镇出行方式和出行距离 ,确定出行距离为 0 ~ 5 km 选用指数函数 ,出行距离范围为 5 ~ 12 km 选用幂函数^[4-5] .

2 模型构建

从系统的角度 ,规划年利用道路网出行的交通费用与规划所需投资建设总费用达到最小 ,同时 ,为保证

收稿日期 :2008-10-15
基金项目 :江苏省建设厅基金(JS200503)
作者简介 :马健霄(1966—)男 ,内蒙赤峰人 ,副教授 ,博士 ,主要从事城市与区域交通规划研究 .

城镇各功能小区配置的协调性,使城镇各类用地类型布局与开发相互依存,保证用地之间的相互联系,从而达到合理分布产业与人口的目的,通过城镇土地开发与配制,来平衡各类单元小区交通需求分布的合理性.构建如下目标函数:

$$\min F_1(x) = \sum_j K(i)C + \sum_i \sum_j w_{ij}y_{ij} \tag{2}$$

$$\max F_2(x') = \sum_{ij} \sum_{kk'} x_i x_j h_{kk'} \tag{3}$$

其中镶嵌函数 $K(i)$ 可用修正后的交通潜能函数 I_i 代替:

$$I_i = \sum_j O_i \frac{W_j/T_{ij}}{\sum_j (W_j/T_{ij})} \frac{L_{ij}l_t/C_{ij}R_{ij}}{\sum_i \sum_j (L_{ij}l_t/C_{ij}R_{ij})} \tag{4}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} O_i > 0 \\ 0 \leq C \leq 5 \\ \sum_i x_i = 1 & \forall i \\ \sum_i x_i = x_k & \forall k \\ \sum_{ij} y_{ij} \leq 1 & \forall i, j \\ x_i = 1 & k \text{ 类用地存在于 } i \text{ 小区} \\ y_{ij} = 1 & \text{类型为 } l \text{ 的道路存在于 } i \text{ 小区与 } j \text{ 小区之间} \end{cases}$$

式中: $F_1(x)$ ——出行费用函数; $F_2(x')$ ——用地类型协调性函数; C ——对应出行量的平均出行费用; w_{ij} —— i 区与 j 区间建设等级为 l 的道路投资; y_{ij} ——道路等级函数, $y_{ij}=1$ 表示单元 i 与单元 j 间的道路等级为 l ,否则 $y_{ij}=0$,按照6类划分; $h_{kk'}$ ——对应于 i 区与 j 区间的空间距离为 D_{ij} 的用地类型分别为 k 和 k' 的 i 区与 j 区间的空间协调系数; k, k' ——用地类型(如居住用地、工业用地、商业用地等); l ——道路等级(如城镇主干路、次干路和支路等); i, j ——功能用地的空间单元; x_i, x_j ——二元变量,取值为1表示单元 i 的用地类型为 k ,否则为0; x_k ——以单元所表示的用地类型为 k 的数量; I_i —— i 区与 j 区出行关系的修正交通潜能函数,可表示为出行量,修正条件为各单元功能结构、单元之间出行距离、土地开发地租级差、道路网规模等约束条件; O_i ——受一定约束的源区需求量(消费支出等); W_j —— j 区的吸引消费总量,可采用商店营业面积、建筑面积、员工数等代替; L_{ij} —— t 时段内 i 区到 j 区的现有道路网规模(以道路密度为指标); l_t —— t 时段 i 区到 j 区未来规划的道路网规模; R_{ij} —— i 区到 j 区的地租级差; C_{ij} —— t 时段内 i 区到 j 区的出行普遍化费用,包括货币费用和时间费用^[6-8],参照“巴顿”的普遍化成本概念,则有

$$C_{ij} = M_{ij} + \tau t_{ij} \tag{5}$$

式中: M_{ij} ——出行的实际货币费用; t_{ij} ——出行时间; τ ——单位时间的货币价值,不同城镇所处经济区域、土地布局、道路网规模、区域间出行的交通方式不同, τ 的取值有所不同,如在小城镇中取0.5~1.5元/h.

不同的范围可划分为 z 个区间,对应某一区间属同一类出行则定义出行距离为 h .

3 算法求解

所构建的模型为一个多目标非线性函数,常规的计算方法求解所需计算周期长,且最优解的收敛性难以保证^[9-10],因此需对遗传算法的条件规定与处理方法进行改进,应用C++编程对该优化问题进行求解.

3.1 简化目标函数

将目标函数中2个不同寻优方向转化为同一方向,以减少2目标函数间目标值数量级差距,对目标函数进行组合,转化为单目标函数优化问题 $F_3 = \gamma_1 F_1 + \gamma_2 F_2$,并对 F_1 与 F_2 的权重参数进行标定,当 γ_1 比重较小时取0.01而 γ_2 取0.99.这样,目标函数3个变量分别为:用地单元 x_i 、出行距离 d_{ij} 和道路等级 y_{ij} .

3.2 正交设计初始化种群及求解

假设规划城镇单元用地类型有 n 种,单元之间连接道路 m 条,单元之间的出行距离类型有 z 个,定义3个决策变量 x_i, y_{ij}, d_i ,当寻优得到 $x_i = k, y_{ij} = l, d_i = h$,表明单元用地类型为 k ,单元路段类型为 l ,单元的出行距

离为 h 。依据遗传算法,定义这 3 个决策变量为染色体内的 3 个基因,分别对 3 个决策变量进行限定,采用目标函数作为适应度函数的判定标准,那么优化问题将等价于寻找一类符合适应度判定标准的染色体群。

采用正交方法的本质在于应用正交性准则挑选代表点,使得代表点能反映仿真实验范围内各因素与试验指标的关系^[11],可以用较少的组合点均匀分布在整个可行解空间上,可以产生较好的初始化种群。

3.2.1 构造正交表

采用 N 个因素 Q 水平的特殊正交表 $L_M(Q_N)$, L 代表拉丁方, M 代表组合数,其中 Q 为奇数, $M = Q_J$, 而 J 满足正整数: $N = (Q_J - 1)(J - 1)$ 。为便于数据处理,将用地单元因素转化为二维数组类型,针对本文的优化问题进行数据结构试验设计,如表 1 所示。

通过构造基本列与非基本列排列方法构造正交表,并进行优化,得到含有 N 个因素的新正交表 $L_{M_1} = (Q_{N_1}) = [(x_1, x_i)(y_1, y_m)(d_1, d_z)]_{M_1 \times N_1}$, 从 Q_{N_1} 组合中选出 M_1 种组合,产生 M_1 个染色体。

在 M_1 个潜在的染色体中,选择 G 个符合适应度判断标准并满足适应度最小的染色体作为初始种群,这样,一次即可将整个可行域中潜在的点作为下次迭代循环的初始种群。

3.2.2 调用遗传算法

应用 C++ 语言编写多目标双层遗传算法程序,实现了遗传算法对优化问题求解的程序控制。

4 仿真算例及分析

某城镇内建成区面积 20 km^2 , 边缘区面积 8 km^2 , 区域平面投影按 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 的分辨率划分成正方形网格。对城镇建成区与新区进行地块编号,标号由左至右,由下至上表示为 a_{ij} ($i = 6, 7, 8, 9$ 时, $j = 3, 4, 5, 6, 7$; $i = 10, 11$ 时, $j = 4, 5, 6, 7$), 得到城镇二维空间网格划分如图 1 所示,并对标识的规划地块赋予初始属性见表 2。

表 2 地块初始属性

Table 2 Initial attributes of land units													
单元	标号	W_j	L_{ij}	l_i	C_{ij}	R_{ij}	单元	标号	W_j	L_{ij}	l_i	C_{ij}	R_{ij}
$a_{6,3}$	1						$a_{10,5}$	15	50	7	5.4	2.68	50
$a_{7,3}$	2	50	4	3.5	1.88	85	$a_{11,5}$	16	68	6.5	5.2	2.88	55
$a_{8,3}$	3	300	3.5	4.5	0.88	85	$a_{6,6}$	17	35	4.2	1.5	2.08	85
$a_{9,3}$	4						$a_{7,6}$	18	10	3	1.0	4.08	75
$a_{6,4}$	5	120	4.2	4.8	0.38	95	$a_{8,6}$	19	95	7.5	4.5	0.88	110
$a_{7,4}$	6	120	7.5	1.1	0.38	100	$a_{9,6}$	20	78	7	3.5	0.88	95
$a_{8,4}$	7	30	8	0	0.25	100	$a_{10,6}$	21	45	5.5	4.5	3.08	55
$a_{9,4}$	8	80	6	2.5	0.35	95	$a_{11,6}$	22	32	5	5.5	3.68	50
$a_{10,4}$	9	100	4	3.5	2.38	55	$a_{6,7}$	23					
$a_{11,4}$	10						$a_{7,7}$	24	15	3.5	1.5	3.98	85
$a_{6,5}$	11	175	3.6	4.5	3.08	85	$a_{8,7}$	25	35	4.5	2.5	2.08	95
$a_{7,5}$	12	450	8.5	0	1.88	95	$a_{9,7}$	26	56	4	3.5	2.88	85
$a_{8,5}$	13	85	9	0.5	0.38	105	$a_{10,7}$	27	24	5.2	4.5	5.68	55
$a_{9,5}$	14	16	10	2.5	0.38	90	$a_{11,7}$	28					

该城镇建成区和新区的规划为 4 类用地: 居住用地(R)、商业用地(C)、工业用地(I)、公共事业用地(P), 设置 5 块虚拟单元($a_{6,3}$, $a_{9,3}$, $a_{11,4}$, $a_{6,7}$, $a_{11,7}$)。其余用地单元为待分配单元。规划区内各类用地数据如表 3 所示。

针对优化问题进行仿真试验,设置 3 个因素,划为 6 个水平,其中因素 1 为用地单元,包含以上 4 种类型用地,因素 2 为道路等级,包含 6 类(1—交通性主干道、2—生活性主干道、3—交通性次干道、4—生活性次干

表 1 正交表所需的因素水平

Table 1 Parametric levels for orthogonal table			
水平划分	用地单元	道路等级	出行距离
1	1-1	l_1	d_l
2	1-2	l_2	d_h
3	1-3	l_3	d_z
4	1- n_1		
	2-1	l_1	d_l
	2-2	l_2	d_h
	2- n_2	l_3	d_z
$n-3$	$n-(n-3)$	l_1	d_l
$n-2$	$n-(n-2)$	l_2	d_h
$n-1$	$n-(n-1)$	l_3	d_z
n	$n-n$		

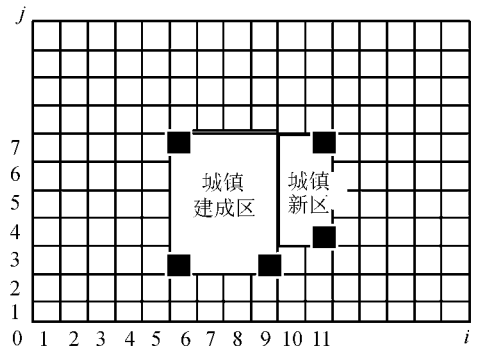


图 1 城镇二维空间网格划分

Fig. 1 Meshes for two-dimensional space of town

道、5—Ⅰ级支路、6—Ⅱ级支路)构建因素水平划分表和正交设计表,如表4和表5所示。

依据空间距离所形成的用地单元空间协调系数^[12]见表6。

确立上述不同用地单元空间协调系数的前提是用地单元的空间距离不超过3单元,为了仿真数据的合理性,需调整用地单元的布局,布置一些空白单元,以减少空间距离与出行距离覆盖的范围,便于数据计算处理。规定采用的出行距离范围为0~5 km,因而 T_{ij} 采用指数函数。

表4 因素水平划分

水平	用地单元	道路等级	出行距离/km
1	1-1	6	[0,0.25]
2	1-2	2	[1,2]
3	1-3	5	[0.5,1]
4	1-4	4	[0.25,0.5]
5	2-2	3	[2,3]
6	2-4	1	[3,4]

表3 用地单元数据规定

Table 3 Data regulation of land use units

用地类型	规划对象	所属单元编号	待分配单元数目	单元出行量	单元吸引量
1	居住用地(R)	未知	8	500	100
2	商业用地(C)	未知	5	25	350
3	工业用地(I)	未知	6	40	400
4	公共事业用地(P)	未知	4	10	80

表5 标准符号化因素水平划分

Table 5 Division of parametric levels with standard symbols

水平	用地单元	道路等级	出行距离
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6

表6 用地单元空间协调系数

Table 6 Spatial coordination coefficients of land use units

用地单元	距离1单元				距离2单元				距离3单元			
	R	C	I	P	R	C	I	P	R	C	I	P
R	1	0.4	0.4	0.9	0.5	0.3	0.2	0.4	0.25	0.2	0.1	0.1
C	0.4	1	0.2	0.4	0.3	0.5	0.1	0.2	0.2	0.25	0	0.1
I	0.4	0.2	1	0.5	0.2	0.1	0.5	0.2	0.1	0	0.25	0
P	0.9	0.4	0.5	1	0.4	0.2	0.2	0.5	0	0.1	0	0.25

调用正交初始化程序,生成正交表 $L_M(Q_N)=L_{36}(6_3)$,生成36个潜在的染色体,代入目标函数进行适应度分析,选取初始优秀种群,同时对规划区内各种类型道路的投资费用进行定义,1,2,3,4,5,6类道路投资费用比为500:350:250:150:85:50,标定遗传算法相关参数,交叉概率与变异概率分别取0.90和0.01,得到3个最优染色体,即代表3类城镇道路网布局方案,经程序编译后如图2所示。

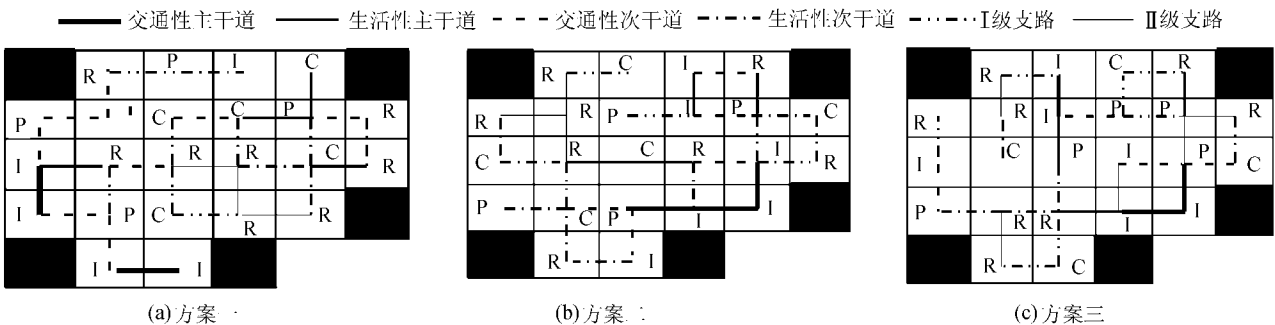


图2 城镇道路网布局方案

Fig. 2 Layout schemes for town road network

3个道路网布局方案都是根据优化目标实现程度而得到的选择方案,并不存在绝对最优方案,因此3个方案均为可作为规划设计选择方案。在具体实施过程中,决策者可采用多准则决策方法或根据规划目标的优化程度,从道路网布局方案中选择最终的实施方案。

5 结 语

城镇化快速发展形势下的城镇道路网布局规划一直是规划者研究的重点,但由于现有的交通基础数据

不足以指导规划年的交通发展,因此,基于一定发展目标与控制准则,对规划年城镇用地和道路网布局规划方案进行一体化设计,是城镇道路网系统规划方法所要解决的主要问题。通过将城镇道路网规划时空费用与城镇空间演变发展相结合,构建了城镇空间演变与道路网设计一体化的多目标决策模型。通过对遗传算法的条件界定和处理方法的改进,实现了对该决策模型求解的程序化设计。通过案例分析,以城镇各功能地块在空间上的总协调性最大和道路网系统总费用最小为目标,仿真计算出了城镇道路网布局多选方案,验证了模型的实用性,可作为城镇道路网规划设计目标优选的依据,简化了城镇道路网布局评价、优化、调整的步骤。

参考文献:

- [1] 丁日成,宋彦,黄艳,等.城市规划与空间结构[M].北京:中国建筑出版社,2005.
- [2] 屈鹏举.城市道路网双层规划模型及其应用[J].西南交通大学学报,2005,40(6):793-797.(QU Peng-ju. Bilevel programming model for city road network planning and its application[J]. Journal of Southwest Jiaotong University,2005,40(6):793-797.(in Chinese))
- [3] 孙一揮,陈红,徐永刚.小城镇用地布局与交通系统互动模型研究[J].山东交通科技,2006(4):7-11.(SUN Yi-hui, CHEN Hong, XU Yong-gang. Research on the interactive model of small town land layout and transport system[J]. Shandong Communication Science and Technology,2006(4):7-11.(in Chinese))
- [4] 魏晓云.上海近郊居民日常出行行为特征分析[D].上海:同济大学,2006.
- [5] 张涛.中小城市居民出行特征分析及交通发展对策研究[J].交通科技,2005(3):89-91.(ZHANG Tao. Analysis on characteristics of the resident trip and study on policy of the transport development in medium or small urban[J]. Transportation Science & Technology,2005(3):89-91.(in Chinese))
- [6] 王海洋,周伟,王元庆.旅客行为时间价值确定方法研究[J].公路交通科技,2004,21(8):134-141.(WANG Hai-yang, ZHOU Wei, WANG Yuan-qing. Research on methods for value of time determination for passenger behavior[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2004,21(8):134-141.(in Chinese))
- [7] 刘东坡.旅客旅行时间价值分析方法研究[J].华东经济管理,2003,17(4):155-156.(LIU Dong-po. Research on the approach to the travel time value analysis[J]. East China Economic Management,2003,17(4):155-156.(in Chinese))
- [8] 柳茂森.论旅客运输时间价值的决定[J].公路交通科技,2001,18(3):97-99.(LIU Mao-sen. Value of time of passenger transport [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2001,18(3):97-99.(in Chinese))
- [9] 吴祈宗.系统工程[M].北京:北京理工大学出版社,2005.
- [10] 周成虎,孙战利,谢一春.地理元胞自动机研究[M].北京:科学出版社,1999.
- [11] 林瑜,杨晓光,马莹莹.交通阻塞影响因素分析的正交试验设计方法[J].系统工程,2005,23(10):39-43.(LIN Yu, YANG Xiao-guang, MA Ying-ying. An analysis of factors causing congestion with the application of orthogonal experimental design method[J]. Systems Engineering,2005,23(10):39-43.(in Chinese))
- [12] FENG C M, LIN J J. Using a genetic algorithm to generate alternative sketch for urban planning[J]. Computers Environment and Urban System,1999,23(2):91-108.

Multi-objective decision-making model for town growth and integration of road network

MA Jian-xiao, HAN Bao-rui, WU Ying

(College of Automobile and Traffic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to implement reasonable layout and planning schemes for the road network during the town growth process and to simplify the procedures of evaluation, optimization and adjustment, a multi-objective decision-making model for the town land planning and the integration of the road network design was established. The goal of the model was to minimize the traffic expenses of trips in the planning-year road network and the total expenses of investment and construction. The genetic algorithm was employed to modify the model conditions and processing methods and to simplify its objective function. The detailed algorithm and analytic process are provided. The simulated results of a case study show that the present decision-making model is feasible and practical, and that it can generate various layout and planning schemes for the road network so that the decision-makers can choose a reasonable scheme for the road network according to multiple-rule decision-making methods or different optimization objectives.

Key words: transportation planning; town road network; layout and planning of road network; multi-objective decision-making model