

路网中新建道路空间走向的基因算法优化

杨忠振

(大连理工大学 建筑系, 辽宁 大连 116024, E-mail: yangzhongzhen@263.net)

摘要: 利用基因算法(GAs),从改善道路网的服务水平、工程造价和土方费用的角度优化新建道路的空间走向,应用GIS开发了在数字地形上自动生成新建道路走向初始方案的方法.提出了优化新建线路空间走向的目标函数,并设计了相应的基因算法.开发了在路网中新增一条道路后路网结构的拓扑方法.确立计算适应度函数的具体公式.设定研究区域进行数值实验,验证了该方法的有效性.

关键词: 道路网;交通服务水平;地理信息系统;道路建设费用

中图分类号: U491.17

文献标识码: A

文章编号: 0367-6224(2003)12-1531-03

Application of genetic algorithm in optimizing spatial location of new road in network

YANG Zhong-zhen

(Dept. of Architecture, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China, E-mail: yangzhongzhen@263.net)

Abstract: Genetic algorithms (GAs) has been applied to optimize the location of new road, improve the network service level and reduce the construction cost and earthwork, GIS is used to automatically generate road alternatives in digital elevated model (DEM) with an objective function established for optimizing the new road to continue the topology of road network in the case of adding a new road. Fitness index in GAs is determined and a case study is carried out to prove the effectiveness of the method proposed.

Key words: road network; level of service; GIS; construction cost

道路工程中的选线主要考虑的是新建道路的平面和纵断面的线形,在满足技术要求的前提下优化工程造价^[1].传统的选线方法的缺点是候补线路的数量有限,而且不考虑新建道路对已有路网的影响.为了克服这些弊端,Jong等^[2]利用GAs开发的优化平面路线的方法是道路选线的一个突破,但也没有涉及新建道路对路网服务水平的影响.本研究要优化新建道路的空间走向,使其费用和改善路网服务水平的组合达到最佳.

1 研究方法

如图1所示新建道路的位置要在指定的控制点 N_1, N_2 和 N_3 间变化,可以看出在 $N_1 \sim N_2$ 和 $N_2 \sim N_3$ 之间符合道路技术指标的路线方案是无限的.本研究利用GAs在粗略的线形方案的基

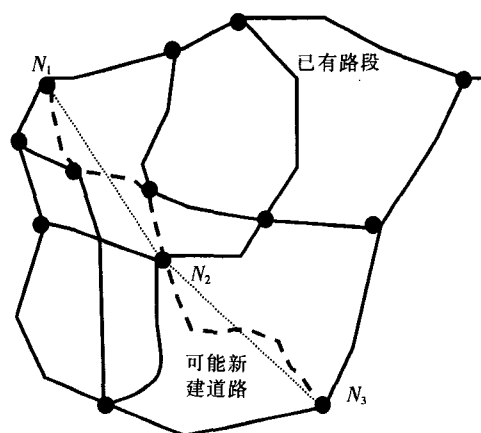


图1 控制点间的候选新建道路方案

Fig. 1 Alternatives between control points

础上逐步繁衍出更多的线形方案,并以优剩劣汰原则进行筛选直到找到最优的方案为止.这里GIS被用来计算路线的线形特征、占用的土地、土石方量、路网拓扑结构以及交通小区和路网的连接;Fank-Wolf算法^[3]被用来分配OD交通量.

收稿日期: 2002-09-11.

作者简介: 杨忠振(1964-),男,博士,副教授.

GAs 中的适应度函数包含了新建道路的费用指标和新路网的服务水平指标。

1.1 初始解的生成

控制点间的走向应该以控制点间连线的周边地形数据为基础设定. 由于地形是 DEM 数据, 因此路线走向就是其中心线所占的 DEM 网格单元的集合, 初始解的生成就是确定这个集合. 为了使初始解具有足够的选择余地, 沿控制点的连线隔一定距离设定一个横断面(图 2), 在这个横断面上选取网格单元, 它们就是道路可能通过的位置. 假设控制点间的直线被分成 $n + 1$ 段, 那么就会有 n 组网格单元, 对这些单元进行连续排列并记录各组的最小和最大编号后, 初始解救为

$$\{[\text{random}(c_{1,\min}, c_{1,\max}), \dots, \text{random}(c_{n,\min}, c_{n,\max})]\}_j, j = 1, \dots, P_{\text{size}}\}.$$

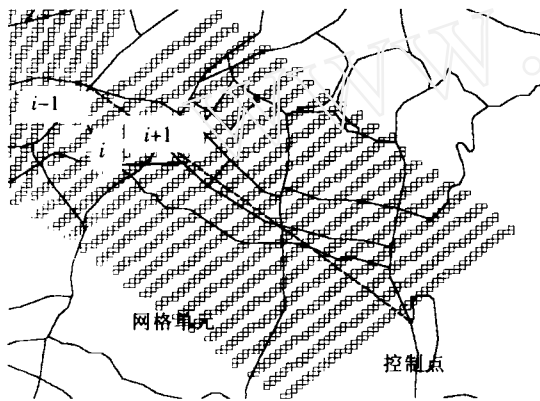


图 2 控制点间横断面上的网格单元

Fig. 2 Cells along sections between control points

1.2 基因算法的设计和适应度函数的选取

依据 GAs 的规则将初始解作为进化的初始染色体, 其单元编号做为基因, 然后进行基因交叉、变异和根据适应度选择较优的染色体得到一组新的道路空间走向. GAs 中的 4 个计算因子分别是交叉率 (p_c)、变异率 (p_m)、群体大小 (P_{size}) 和最大进化代数 (T_{max})^[4], 算法为: 1) 生成初始染色体, 染色的数量由 P_{size} 来控制. 2) 用十进制编码对初始染色体编码. 3) 从父代染色体中选取子代染色体. 考虑到道路的特征, 在选择子代染色体时, 可以事先排除一部分交叉变异后的染色体, 其标准是: 首先, 一条新建道路上的最小平面转角应该大于一个最小值. 其次, 新建道路不应该和已有的某条路段相交多次. 然后将余下方案的 OD 交通总行程时间、道路建设造价和总土方量综合成适应度值, 其方法为 $F = \alpha T_T + T_W + \beta_1 T_{E1} + \beta_2 T_{E2}$. 式中: T_T 为 OD 交通总行程时间; T_W 为总工程造价; T_E 为总土方费用; α, β_1, β_2 分别为时间价值、填土单价和排土单价. 4) 在两个父代染色体

间交换基因. 采用算术交叉法 $c_{i1}^t = \alpha_i c_{i1}^{t-1} + (1 - \alpha_i) c_{i2}^{t-1}, c_{i2}^t = \alpha_i c_{i2}^{t-1} + (1 - \alpha_i) c_{i1}^{t-1}$. 式中: $c_{i1}^{t-1}, c_{i2}^{t-1}$ 为父代染色体; c_{i1}^t, c_{i2}^t 为子代染色体; α_i 为 $(0, 1)$ 间的一个似然数, $i = 1, 2, \dots, k$ (k 是进行交叉的染色体的对数). 5) 实施变异操作. 如果 $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ 是一个染色体, c_k ($c_k \in [c_{k,\min}, c_{k,\max}]$) 是一个被选择用于变异的基因, 那么 c_k 的变异结果为 $\bar{c} = (c_1^{t-1}, c_2^{t-1}, \dots, c_{k-1}^{t-1}, c_k^t, c_{k+1}^{t-1}, \dots, c_m^{t-1})$,

$$c_k^t = \begin{cases} c_k^{t-1} + \Delta(t, c_{k,\max} - c_k^{t-1}), & \text{if } \text{random}(0, 1) = 0, \\ c_k^{t-1} + \Delta(t, c_k^{t-1} - c_{k,\min}), & \text{if } \text{random}(0, 1) = 1. \end{cases}$$

这里 $\Delta(t, y) = y \times (1 - r^{(1-t/T_{\text{max}})\lambda})$, 它返回 $[0, y]$ 间的一个值, 该值随进化代数增加向 0 逼近. r 为 $[0, 1]$ 间的似然数, t 为当前进化代数, $\lambda = 2 - 5$ 是由计算者指定的系数. 6) 判断是否继续计算.

2 数字试验

研究的对象是区域内道路网中相对较短的道路, 提出的计算方法通俗易懂, 但是如何实现计算是该方法有效可行的一个难点, 因为 GAs 的计算量巨大, 道路网拓扑、交通量分配、土石方计算. 路线上转角等指标的计算花费时间更大, 而最复杂的是在路网中增加一条道路时需要重新拓扑路网.

2.1 总行程时间的计算

假设 $(c_{1,j}, \dots, c_{i,j}, \dots, c_{n,j})$ 是一个新方案, 在 GIS 中可以取得其各个单元的重心点坐标, 然后用此坐标做一条折线来表示新建道路, 为了不破坏原有路网的拓扑结构以便进行下个方案的路网拓扑, 必须把该折线记录为 GIS 一个变量而不是数据层中的一个对象. 接下来计算该变量与既有路段的相交情况, 其结果是既有路段相交的点的个数和相应的坐标值. 这些交点是新建道路所增加的节点, 记录方式见图 3. 图 3 中的 O、D、Dis 列表示已有路段的起点、终点和长度, 在此基础上 MM1 ~ MM5 列记录新建路段与一条既有路段的交叉点的序号, D1 ~ D5 列记录已有路段上从起点到 MM1 ~ MM5 的距离. 图 3 优点是在没有破坏 GIS 图形对象和属性表的前提下, 记录了新路段引起的路网结构的变化. 其缺点是由于保留了既有路网的数据结构, 无法记录新建道路, 因此必须另行记录新建道路, 然后再合成新路网的拓扑表. 在该路网上才可以用 Frank - Wolf 法分配交通量求得 OD 交通的总行程时间.

RoadID	O	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	D	Dis	D1	D2	D3	D4	D5	MMM	C1
29	13	0	0	0	0	0	10	277.265	0	0	0	0	0	0	1 600
30	26	0	0	0	0	0	27	570.577	0	0	0	0	0	0	3 200
31	28	0	0	0	0	0	27	423.045	0	0	0	0	0	0	3 200
32	27	0	0	0	0	0	29	947.002	0	0	0	0	0	0	3 200
33	27	301	302	0	0	0	30	1 062.15	192.819	317.235	0	0	0	2	3 200
34	29	303	305	306	307	0	31	1 115.84	508.946	694.46	881.663	1 015.54	0	4	3 200

图 3 GIS 路网数据中新增结点的记录方式

Fig. 3 Recording method for added nodes in road network in GIS

2.2 土方量计算

在考虑纵断面的线形对土方量的影响时,用 DEM 的网格分割相邻两个格网间的路段,并假设各个区间的坡度是均匀. 可以利用各分割点的高程计算各个路段的自然坡度,这个坡度在设计指标内,就认为这段道路不需要填或挖土,土方量为 0,否则就要计算填挖土方量. 以开挖土方为例,首先用 $\alpha_1 = \arctan[(H_{i,k+1} - H_{i,k})/D_{i,k+1}]$, 计算两点间的自然坡度,并判断它是否符合设计要求,再用 $E_{i,k-k+1} = (H_{i,k+1} \times D_{i,k+1} - D_{k,k+1} \times D_{k,k+1} \times \tan(\alpha_2)) \times W/2$. 计算开挖的土方量. 式中: W 为新建道路的设计宽度; α_2 为设计限制的最大坡度.

2.3 总工程造价的计算

工程造价指的是不包括土方量和土地占用等的道路建设的直接费用,在实际工作中,应该根据地形、地质数据逐个精确计算,但是由于没有开发出道路 CAD 与 GIS 间的数据接口,而且研究阶段也缺少详细的地形、地质数据,本数字实验从宏观角度假定单位长度的路段造价和单个交叉点的工程造价是固定值,并将此单价与各方案的道路长度和交叉点个数相乘计算各个方案的总造价.

2.4 最小转角角的计算

从图 2 可以看到由于断面间的距离与断面的长度比相对较小,而候选方案是连接相邻两个断面上的随机选取的格网得到的,因此在一些情况下可能会出现两条连线夹角过小的情况,这显然不是合理的,可以直接将它们排列在所有染色体的后面. 计算 i 点的转角的方法如下: 首先利用 GIS 计算方格 $i-1, i, i+1$ 的中心点的坐标得到 $(X_{i-1}, Y_{i-1}), (X_i, Y_i), (X_{i+1}, Y_{i+1})$, 然后根据路段 $(i, i-1)$ 和 $(i, i+1)$ 的方位角即可计算顶点 i 的转向角 A_i , 然后求得某一方案中的最小转角.

2.5 计算实例

选定了一个有 35 个交通小区的地区,相应的道路网中已有路段 433 条,结点 287 个和 DEM 格网单元 40 819 个. GAs 中的参数如下: $p_c = 0.6$, $p_m = 0.001$, $P_{size} = 50$, $T_{max} = 60$, $\lambda = 3$. 各种费

用设定为:挖土 40 元/ m^3 ,填土 12 元/ m^3 ,1 km 工程造价 1 000 万元,时间价值 0.6 元/min,道路寿命 30 a. GAs 算法中,各进化次数的适应度值如图 4 所示,最终得到的优化新建道路空间位置.

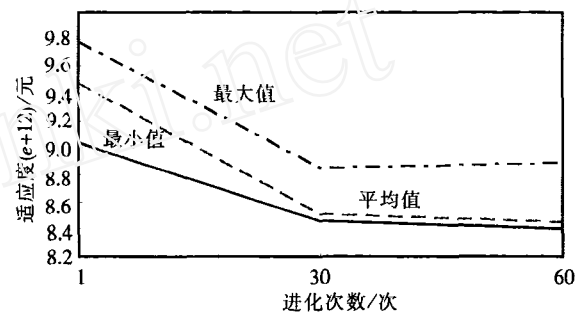


图 4 基因算法进化过程中适应度值

Fig. 4 Changes in fitness during GAs calculation

3 结 论

1) GAs 的应用克服了初始方案范围小的缺点,在 GIS 的空间数据库中 GAs 可以在较大的空间上自动生成可能的新建道路的空间位置方案,并通过基因进化搜索最优值.

2) GIS 数据库和空间分析功能解决了 GAs 中需要不断重复地生成新路网拓扑结构的计算难题,同时实现了随着新建道路的空间位置变化,道路空间所占用的土地利用情况和土方量的自动分析与计算.

3) 数字试验验证了方法的可行性和有效性.

参考文献:

[1] 周 伟,王选仓. 道路经济与管理[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
 [2] JONG J C, JHA M K, SCHONFELD P. Preliminary highway design with genetic algorithms and geographic information systems [J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2000, 15(4):261-271.
 [3] 陆化普. 交通规划理论与方法[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
 [4] 周 明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2000.

(编辑 姚向红)