doi: 10.3969/j.issn.1001-358X.2018.01.008

基于GIS与遗传算法的城市新建地下管线最优路线选取研究*

苏军德,李国霞,田建荣,周建基
(甘肃有色冶金职业技术学院,甘肃 金昌 737100)

摘要: 文中通过对城市地下管线综合管理系统的研究,建立了基于GIS与遗传算法的城市地下管线合成模型,同时结合影响城市地下管线的众多因素,对遗传算法进行了改进,设计了城市地下管线最优路线的选取模型。并利用该模型对金昌市新建地下管线最优路线进行了选取,结果与实际非常吻合,这充分说明基于GIS与遗传算法的模型能够很好的利用于城市新建地下管线最优路线的选取。

关键词: 地下管线; 遗传算法; GIS; 最优路线
中图分类号: TD672; P237 **文献标识号:** A **文章编号:** 1001-358X(2018)01-0030-04

Research on the optimal route selection of urban new underground pipeline based on GIS and genetic algorithm

Su Junde, Li Guoxia, Tian Jianrong, Zhou Jianqi
(*Gansu Vocational & Technical College of Nonferrous Metallurgy, Jinchang* 737100, *China*)

Abstract: In the paper, the urban underground pipeline synthetic model was established by the research of the urban underground pipeline management system, based on GIS and the genetic algorithm, and the genetic algorithm was improved combining with the many factors influencing the urban underground pipeline at the same time, and the optimal route selection modelof the urban underground pipeline was designed. Optimal route of the new underground pipeline was selected using the model in Jinchang, and the results fitted well with the reality. This fully showed that model could use in the selection of the optimal route of the urban new underground pipeline well based on GIS and the genetic algorithm.

Key words: underground utilities; genetic algorithm; GIS; optimized route

城市地下管线作为城市基础工程的重要组成部分,关乎城市的经济发展和城市未来的规划,被称为城市的生命线。随着城市规模的不断扩大,通水管线、通气管线及电线电缆等管线日益增多。同时,城市地下新管线的设计空间却愈来愈小,从而导致设计难度越来越大,地下管线混乱程度日益增强,严重制约了城市的发展与规划。由此可见,对地下管线的合理设计,不仅可以节约地下管线设计的空间,而且可以为城市未来的发展与规划提供保障。但传统的地下管线设计主要依靠经验,在原有的地形图纸上标出地下设施及管线的走向,更为甚者,在施工至现场时才实地标出地下管线的坐标,从而导致地下管线设计资料简单,设计路线不科学等问题,严重影响了城市经济的发展与城市的合理规划。

随着计算机技术及地理信息系统(GIS)技术的不断发展与成熟,在各个领域中的应用也日渐增多,同时也为城市基础建设中的数值化管理提供了保障。众多学者研究表明[1-3],采用地理信息技术(GIS)及遗传算法优化地下管线的设计已势在必行。本文就是在前人研究的基础上,利用遗传算法探讨城市地下

* 基金项目:甘肃省高等学校科研项目(2017A-290);甘肃有色冶金职业技术学院院级项目(GYY2017Y06)
引用格式:苏军德,李国霞,田建荣,等. 基于GIS与遗传算法的城市新建地下管线最优路线选取研究[J]. 矿山测量,2018,46(1):30-33.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

管线的自动选线与优化,旨在为城市地下新管线的设计提供理论支持和技术支撑。

1　遗传算法的设计

遗传算法是计算数学中用于解决最佳化的搜索算法,是模拟 Charles Robert Darwin 生物进化论和遗传学机理所演化而来的一种计算模型[4],最早由美国科学家 Holland 提出[5],在 De Jong 大量计算的基础上,Goldberg 进行归纳总结,最终形成了遗传算法的基本框架[6]。

遗传算法的 n 维决策向量 $X = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad \Lambda \quad x_n]^T$ 可用 n 个记号 $X_i(i = 1,2,\Lambda,n)$ 组成的符号串 X 来表示[7]:

$$X = X_1X_2X_3\Lambda X_n \Rightarrow X = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad \Lambda \quad x_n]$$

在遗传算法中,每一个 X_i 和其所有可能的值组成了遗传基因和等位基因,因此,X 就可看做是由 n 个遗传基因组成的一个染色体。通常状况下,染色体的长度 n 是不变的,但对于一些特殊的问题,n 也可以发生相对的变化。等位基因的取值根据不同的问题会有所不同,可以是整数,也可以是一定范围内的实数值,有时甚至就是一记号。如果所有等位基因的值都为 0 或 1 时,相对应的染色体就变成了一个二进制的符号串。因此,这一系列的符号串排列形成的 X 就是个体的基因型,而其相对应的 X 的值就是个体的表现型。一般情况下,个体的表现性与基因型是一一对应的关系,但在一些特殊情况下,一个基因型也可与多可表现型相对应。染色体 X 决定了每一个个体,而每一个个体都要按照一定的规则确定其适应度,每一个个体的适应度与其相对应的个体表现型 X 的目标函数息息相关,具体表现为,X 离目标函数的最优解越近,其适应度就越大,与其相反,X 离目标函数的最优解越远,适应度就越小。

与生物进化相同,遗传算法中 M 个个体所组成的群体也靠反复迭代来完成运算过程,假设第 t 代群体为 $P(t)$,经过一代的遗传与进化后,便可得到 $t+1$ 代群体的集合体 $P(t+1)$,其众多的个体中,必会有 1 个优良个体 X,与这个个体相对应的表现型 X 便是问题的最优解。生物进化是靠染色体的交叉变异来完成的,与此类似,遗传算法最优解的实现也是模仿生物的进化过程。

2　地下管线最优路线选择模型的建立

2.1　地下管线直接成本模型设计

城市地下管线的建设受到周围环境,土地资源,资金等众多因素的限制[8],因此,优化铺设路线,不仅可以减低成本,并且可以节约土地资源和地下空间。通过调查分析研究发现城市地下管道的成本主要与管道长度、土地面积及单位成本密切相关,在此基础上,本研究结合实际情况,便可计算地下管道的直接成本:

$$C_i = K_i \times L_n \times H_n + W_n \times N \tag{1}$$

式中,C_i 为某一条管道的总成本,K_i 建设单位直接费用,H_n 为管道的长度,W_n 为个人手井费用,N 为人数。其中管道建设单位直接费用可用如下表达式计算: $K_i = K_p + K_m$,其中,K_p 为施工成本,K_m 为造价成本。管道长度得计算式可表示为:

$$L_n = \sum_{i=0}^{n-1}\sqrt{(x_{i+1}+x_i)^2+(y_{i+1}+y_i)^2} \tag{2}$$

式中,管道沿线上的 i 点和 $i+1$ 点用 (x_i, y_i) 和 (x_{i+1}, y_{i+1}) 表示,n 为地下管道上点的个数。

2.2　地下管线间接成本模型设计

城市地下管线的间接成本主要用于后期管道的维护,大多研究表明,管道间接成本占管道建设总成本的 3% 左右[9],因此,本文以管道建设总成本的 3% 作为地下管线的间接成本。

2.3　地下管线建设总投入计算

通过分析城市地下管线直接成本与间接成本,地下管线建设的总投入可按如下表达式计算:

$$C = [(K_P + K_m) + \sum_{i=0}^{n-1}\sqrt{(x_{i+1}+x_i)^2+(y_{i+1}+y_i)^2} \times H_n \times W_n \times N] \times (1+5\%)$$

2.4　合成模型的设计

前文所述的总投入可直接运用于遗传算法,但与管线长度有关的变量必须在外部程序中计算,由于管线长度可通过地理位置坐标计算,因此与管线长度有关的变量可在 GIS 中计算完毕再导入遗传算法,由此可见,如果更为简洁的运用遗传算法获取最优路线,必须建立一种合成模型。本文考虑区域地质条件和周围环境的因素,加入一定的参数 D_i,并基于上述分析建立如下合成模型:

$$C = [(K_P + K_m) + \sum_{i=0}^{n-1}(D_i \times \sqrt{(x_{i+1}+x_i)^2+(y_{i+1}+y_i)^2} \times H_n \times W_n \times N] \times (1+5\%) \tag{3}$$

城市地下管线设计原则是在满足实用的条件下,

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

尽可能是经济成本最低，本文就用计算式(3)设计的模型作为新建管线优化路线的经济目标函数，并且通过软件 SuperMap Object 自带的功能满足地理位置及周围环境的约束，实现城市地下管线最有路线的选择。

3　模型的应用

3.1　城市地下管线允许区域选择

为了检验上述模型的合理性及科学型，本文选取金昌市新建地下管线为研究对象。为了避免新建管线对地下已建管线造成干扰或破坏，本文利用 Arcgis 的缓冲区分析功能[10]，得到管线之间的缓冲区域(图1)。

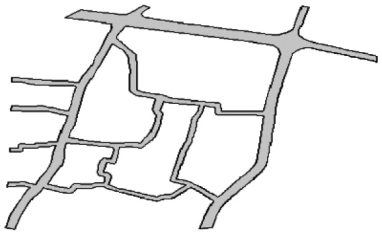

图1　金昌市地下管线缓冲区域(部分)

3.2　个体编码及坐标转换

在管线允许的区域，以管线设计的直径为栅格对上述区域(图1)进行划分。以栅格左上角为原点，分别在水平向右方向和垂直向下方向建立直角坐标系，因此，在允许区域内，每一个栅格都可以用特定的(x，y)来标识，单栅格在允许区域内，赋值为1，反之为0。由于遗传算子计算量较大，而上述坐标计算过程需要较大的内存，因此，我们将上述栅格的直角坐标系进行如下转换：

$$\begin{cases} x = N mod Numx \\ y = Roud(n/Numx) \end{cases}$$

式中，$Numx$ 为管线允许设置区域内栅格的数目，N 为编号，编号规则为从左到右，从上到下。

3.3　适应度函数的建立及分析

遗传算法的效率取决于适应度函数的建立[11]，本文根据研究区域及考虑周围影响因素，选取如下个体适应度评价函数：

$$F = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n-1}}\right) \times D \tag{4}$$

式中，n 为允许区域内栅格数目的综合，D 为相邻两个序号间直线距离之和。从上述公式(4)可以发现，F 与管线间距离之和为正比，而本研究是以最短距离作为目标函数的，如果仅仅以运动函数 D 为评价参数，经过遗传计算后，个体设计管线起点和终点的目标函数一定是最小的，并且随着遗传的进行，这样的个体也会逐渐增多，而这并非研究的目的。鉴于上述问题，本文引入 $\frac{1}{\sqrt{n-1}}$ 的修正项，就可消除遗传算法在运算过程中由于产生间断点而导致距离过近的问题。

3.4　设计遗传算子

遗传算子一般可分为选择算子、交叉算子、变异算子、插入算子和删除算子[12]，其中选择算子就是按照比例选择算子，并且使个体按照上述设计的适应度函数(4)的正比概率向下计算，使下一代群体得到繁殖。交叉算子就是随机选择2个个体，并且针对序号相同的栅格进行交叉操作，在计算过程中，如果重合点大于1个时，随机选取其中之一进行计算，若无重合点，则不进行交叉计算。变异算子分为三种，即从众多群体中随机选取一点或插入一点，甚至删除一点，并且用另一序号代替删除、插入或选取的一点。

由上述操作可以看出，不论是选择算子、交叉算子还是变异算子，都可能使路径产生间断。鉴于此，本文在上述遗传算子的基础上，设计插入算子和删除算子来弥补上述的不足。

把上述操作中间断的路径，用栅格弥补，从而成为连续的路径。针对研究区的特征，本文设计以下判别式来鉴别相邻两点 N_k，N_{k+1} 间是否连续：

$$\triangle max\{abs(x_{k+1} - x_k), abs(y_{k+1} - y_k)\}$$

N_k 和 N_{k+1} 对应的坐标可用式中的 x_k、y_k、x_{k+1}、y_{k+1} 来表示，如果计算结果 $\triangle = 1$，则两点连续，若 $\triangle \neq 1$，则两点不连续。如果出现了不连续时，本文采用如下方式计算插入点坐标：

$$\begin{cases} x' = (x_k + x_{k+1})/2 \\ y' = (y_k + y_{k+1})/2 \\ N'_k = (x'_k + Numx \times y'_k) \end{cases}$$

如果计算得到的 N'_k 在管线设置允许范围内，则 N'_k 直接作为插入点被纳入，如果 N'_k 不在设置允许范围之内，则在管线允许设置范围之内选择与 N'_k 最近的一个栅格作为候补的插入点，如若不存在这样的栅格，则舍去该个体，重新计算，这样的过程重复执行，直到找到相应的插入点插入到 N_k 和 N_{k+1} 之间，使之变成连续的路径为止。

在上述插入算子计算的基础上，本文还利用删除算子删除相同算子间的冗余序号，以简化路径，达到

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

最优路线的选择。

3.5 仿真计算

本文应用上述建立的模型，经过初始群体产生，遗传算子设计等过程，对金昌市新建地下管线进行仿真计算，得到遗传算法的运行参数$\{M, T, p_m, p_c\} = \{31, 100, 0.75, 0.02\}$，并且通过此参数选取了金昌市新建地下管线的最优路线，与实际非常吻合。这说明，基于 GIS 与本文设计的遗传算法模型可以应用于城市新建地下管线最优路线的选取。

4 结　论

本文在前人研究的基础上，提出了基于 GIS 与遗传算法的城市底线管线最优路线选取模型的概念，并综合考虑影响城市地下管线的各种因素，建立了城市地下管线的合成模型，并借助 GIS 分析了金昌市城市地下管线的允许设置区域，同时对遗传算法在个体编码、坐标转换及适应度函数等方面的改进，并运用上述结果选取了金昌市城市新建地下管线的最优路线，其结果与实际非常一致，充分说明本文设计的基于 GIS 与遗传算法的模型能够很好的利用于城市新建地下管线的选取，为城市经济的可持续发展及城市未来的规划奠定了一定的理论基础及技术支撑。

参考文献:

[1] 冯成武，林燕秀. 基于 GIS 的城市地下管线信息系统架构设计研究 [J]. 测绘与空间地理信息，2016，39(11): 195 – 197.

[2] 连军. 基于 GIS 的城市地下管线综合管理信息化研究 [D]. 重庆: 重庆大学，2005.

[3] 刘陵，方军，陈利生，等. 三维 GIS 的研究现状及其发展趋势 [J]. 矿山测量，2011，39(23): 71 – 72.

[4] 张望军，王国生，王政华. 城市地下管线信息系统在 GIS 下的建立 [J]. 湖南大学学报，2000，27(5): 85 – 90.

[5] 乌效明，胡郁乐，李小青. 双线交汇法在跟踪复杂建筑物下非开挖钻进轨迹中的应用 [J]. 地质科学情报，1999，18(1): 25 – 26.

[6] 马雷雷，杜泽欣，连世伟，等. 模板驱动的城市地下管线出图研究 [J]. 测绘工程，2015，24(1): 73 – 77.

[7] 解庆，赵小强. 遗传算法编码策略研究 [J]. 甘肃科技，2013，29(2): 13 – 16.

[8] Wayne Perich, Dirk L. van Oostendorp. etal. Integrated date approach to pipeline Integrity management. Pipeline and Gas Journal [J]. 2003，10(1): 28 – 31.

[9] 李雷. GPS 定位技术在工程测量中的应用 [J]. 金属矿山，2003，10(1): 31 – 33.

[10] 赵伟山，吕瑞瑞. “天地图·金昌”电子地图数据制作方法的探讨 [J]. 矿山测量，2017，4(15): 90 – 91.

[11] 高铁军. 地下管线地理信息系统中任意剖面图的实现 [J]. 测绘工程. 2000，9(3): 37 – 40.

[12] 王金玲，张东明. 空间数据插值算法比较分析 [J]. 矿山测量，2010，38(4): 55 – 57.

作者简介: 苏军德(1986 –)，男，硕士研究生，主要从事矿山地质灾害、地理信息系统，生态恢复等方面的研究。

(收稿日期: 2017 – 10 – 14)

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net