

基于 GIS 和改进元胞自动机的输电线路路径自动选择

苏海锋¹, 石经纬¹, 梁志瑞¹, 武长青²

(1. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北 保定 071003; 2. 重庆电力设计院, 重庆 400030)

摘要: 通过 GIS 技术和层次分析法整合地理单元中复杂的地理信息, 基于元胞自动机模型和输电线路设计的特点, 建立了输电线路自动选择模型。输电线路自动选择模型采用了启发式搜索, 加入了局部成本控制和全局方向控制, 同时融入了蚁群算法中信息素更新机制。采用 Google GIS 提供的地理数据, 并应用 C#2010 开发了输电线路路径自动选择程序, 验证了所提模型的有效性。

关键词: 输电; 输电线路选择; 地理信息系统; 层次分析法; 元胞自动机; 启发式搜索; 蚁群算法

中图分类号: TM 726

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.12.017

0 引言

输电线路路径选择是电力线路工程设计中的重要组成部分, 是一项投资大、要求高的复杂系统工程^[1]。它不仅要考虑地形、地质、水文等自然条件, 同时要顾及施工难度、工程投资及线路运行对沿线环境的影响, 是一个涉及工程、环境、经济等诸多因素, 对线路投资综合效益有很大影响的空间多目标决策问题。传统的输电线路路径选择工作是设计人员凭借经验在地图上绘制, 并通过现场初堪选线和终堪选线最终完成。人工设计无法兼顾大量各种类型的空间信息, 也就难以保证设计结果的经济性和科学性。因此对路径评选中涉及的多种因素进行量化, 通过计算机人工智能方法来完成路径选择是输电线路路径设计发展的必然趋势。

地理信息系统(GIS)是一种特定的十分重要的空间信息系统。它是在计算机硬、软件系统支持下, 对地球表层空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统^[2-3]。GIS 技术能够实现电网资源管理、可视化展现、结构化分析, 是构建“数字化电网, 信息化企业”不可或缺的重要技术^[4]。

目前, 针对 GIS 技术在输电线路设计中的应用已有相关研究。文献[5]利用 GIS 技术与遥感技术结合构建三维可视化地形影像, 在立体图像上拟设多个线路塔位拐点, 分析塔位间地理信息, 对线路路径进行改进。文献[6]以三维可视化的方式直观显示线路走廊内的各类型综合图形信息, 如电网数据、覆冰区、协议区、规划区等, 辅助大范围的线路路径初步规划。已有文献主要是利用 GIS 大数据量、可视化的

立体地图影像辅助人工设计, 或利用其对地理信息的管理、分析、显示能力对已有备选路径进行优化, 而在自动生成路径方面的方法还很匮乏。

本文提出了一种基于 GIS 的改进元胞自动机 CA(Cellular Automata)模型。通过 GIS 平台, 利用军区、城市规划、铁路、民航、气象等部门之间的地理信息资源共享得到实时准确的地理信息, 减轻繁重的现场勘察工作; 同时, 计算机可以全面考虑所有地理信息, 因此能够保证设计结果的经济性和科学性。

1 元胞自动机模型

1.1 元胞自动机的概念

元胞自动机是时间和空间都离散的动力系统, 最基本的组成是元胞、元胞空间、邻居及元胞转化规则四部分^[7-8]。元胞散布在规则格网中取有限的离散状态, 遵循同样的作用规则, 依据确定的局部规则作同步更新, 描述复杂系统的整体行为^[9-10]。元胞自动机的构成如图 1 所示。

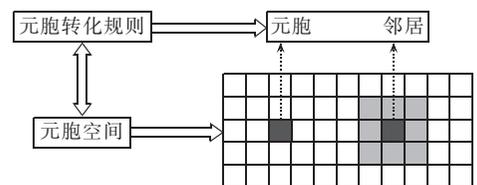


图 1 元胞自动机的构成

Fig.1 Composition of cellular automata

GIS 的栅格地图与元胞自动机模型都是以单个网格为基本单元, 二者数据可以兼容^[11]; 且元胞自动机可以描述多因素影响下线路形成的复杂行为, 元胞自动机模型可以用于路径选择。

GIS 可以有效地管理、表达和处理静态空间信息, 对规划区域复杂地理信息进行分析处理, 转化为简单栅格数据^[12]; 元胞自动机模型有强大的模拟地理时空行为的能力, 以 GIS 提供的处理后的地理信息, 导入元胞自动机路径搜索模型进行搜索, 将二

收稿日期: 2015-05-05; 修回日期: 2016-06-24
基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2015-MS85)
Project supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2015MS85)

者结合起来可以充分发挥各自的优势,提高电网规划的科学性和建设经济性。

1.2 元胞自动机模型与蚁群算法的结合

元胞自动机路径搜索模式是由起点开始向多方向的自由搜索,通过独立的多次搜索,比较搜索结果,保留最优结果形成路径。输电线路路径搜索属于大规模系统搜索,数据量很大,变量组合多,易出现维数灾难、计算时间长和收敛性差等问题。

改进的元胞自动机路径搜索模型融入蚁群算法机制^[13],对每个元胞赋予信息素浓度值,在路径由起点向终点形成过程中,信息素浓度值大的元胞,被选中形成路径的概率大。重复搜索一定次数,取最优解线路上的元胞,增加其信息素浓度,重新进行搜索。重复此过程直至达到设定次数位置,比较得出的最优路径结果。

蚁群算法对元胞自动机模型进行的优化,可以使每次搜索都受到上一次优质搜索结果的影响,将独立的多次搜索关联成整体搜索,对地图信息的认识和捕捉更加明确。运用路径搜索模型在空间上搜索出可行解,然后用搜索出的可行解更新模型参数,使模型趋向于在高质量的解空间中搜索新的解。在元胞自动机模型中加入蚁群算法机制,可以有效提高求解效率和求解精度。

2 层次分析法元胞模型

2.1 元胞类型

影响输电线路路径选择的地理信息因素既有自然因素也有社会因素,自然因素包括自然保护区范围和内 容、河流湖泊、矿藏区范围、地质构造带等,社会因素包括风景名胜区范围、水源区范围、飞机场升降区域、军事管理区等。考虑到以上地理信息因素限制性的强弱,将规划区域的元胞分为如下 3 类。

(1)A 类元胞:线路可以穿越也可以架设杆塔的元胞(如不受限制的平原地区等)。

(2)B 类元胞:线路可以穿越但不能架设杆塔的元胞(如河流、公路等)。

(3)C 类元胞:线路不能穿越也不能架设杆塔的元胞(如自然保护区、飞机场升降区等)。

2.2 元胞成本值

对于 A、B 类元胞,它们可以成为路径选择中的备选元胞,最优化自动选择方法只能用于定量分析,所以需要 对元胞进行赋值,即元胞成本值。

在建立元胞成本值的过程中,需考虑的影响因素多,而且很多因素为定性分析,各因素之间无法进行定量比较。为了解决上述问题,本文采用层次分析法 AHP(Analytic Hierarchy Process)确定元胞成本值。

(1)对相关地理信息进行等级评分。细化各项指

标因素,具体到可以量化或可以定性分级的指标因子,如地形地貌、地质构造、土地利用类型、覆冰区情况、污秽区情况、风速等,通过客观数据分析和专家评分等手段,确定每个指标因子对该元胞区域输电线路建设的影响,评分标准如表 1 所示。

表 1 地理信息评分等级表

Table 1 Grades of geographic information scoring

评分等级	内容
1	成本低,很适宜建设
2	成本较低,比较适宜建设
3	成本一般,可以建设
4	成本稍高,建设较难
5	成本较高,建设困难

(2)建立层次结构模型。总目标层为元胞成本值,考虑到地区差异、电压等级和建设标准的不同,将第一基准层划分为基础工程、杆塔工程、架线工程、其他工程 4 个部分。第二基准层为需要考 虑的具体地理信息因素,如图 2 的虚线框中所示。

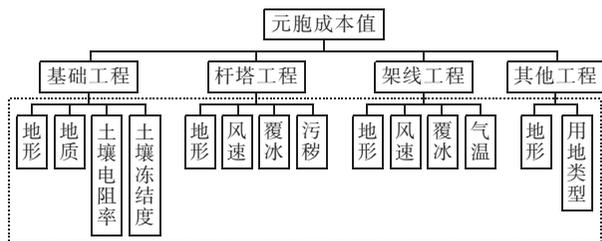


图 2 元胞成本层次结构图

Fig.2 Hierarchical structure of cellular cost

(3)构造成对比较矩阵。本文利用 9 级比例标尺建立评价尺度^[14],评价尺度表如表 2 所示。对每层中的两两因素进行比较。用 q_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的比较结果,则成对比较矩阵 Q 如式(1)所示。

$$Q = (q_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

表 2 AHP 评价尺度表

Table 2 Evaluation scales of AHP

比例标尺	内容
1 级	同等重要:2 个要素具有同等的重要性
3 级	稍微重要:其中一个要素较另一个要素稍微重要
5 级	相当重要:根据经验与判断,强烈倾向于某一要素
7 级	明显重要:实际上非常倾向于某一要素
9 级	绝对重要:有证据确定,在 2 个要素比较时,某一要素非常重要,即一个要素明显强于另一个要素可控制的最大可能
2,4,6,8 级	用于上述标准之间的折中值

(4)计算下层因素对上层目标的影响权重。计算矩阵 Q 的最大特征值对应的特征向量,归一化处理 后得出目标函数权重向量 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。

(5)计算元胞成本值。设线路经过某一元胞的地理因素成本为元胞成本值,用 c 表示。将本节(1)中得到的地理信息评分代入到上述 AHP 模型中,计算出每个元胞的成本值 c 。

2.3 利用 GIS 整合地图数据

利用在 GIS 中获取的研究区域各元胞的空间分布和相关属性数据,生成符合元胞自动机定义的属性数据表。元胞所包含的数据包括位置坐标 (x,y) 、元胞类型(A、B 或 C)、元胞成本值 c 。

3 路径搜索模型

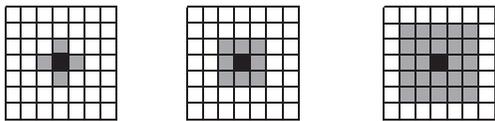
路径搜索模型采用连点成线方式。搜索地图上形成线路的关键元胞作为标记点。从线路起点开始,依次连结搜索到的标记点,直至终点结束,形成线路。

3.1 元胞状态

设定规划区域内元胞有 3 种状态:在某一时刻的某一元胞,如果确定为标记点元胞,那么此时该元胞状态为 1;如果确定为线路上元胞,那么此时该元胞状态为 2;如果元胞既不是标记点,也不是线路上元胞,那么此时该元胞状态为 0。最终由状态为 1 和 2 的元胞确定最终的规划线路。元胞状态可以相互转换。

3.2 元胞自动机邻居模型

常用的二维元胞自动机邻居模型如图 3 所示,用于输电线路路径搜索存在局限性:搜索步长小,不适于长距离搜索,也会造成线路曲折;无法做出跨越动作。



(a) von Neumann 型 (b) Moore 型 (c) 扩展的 Moore 型

图 3 常用二维元胞自动机邻居模型

Fig.3 Common neighbor models of two-dimension cellular automata

根据高压输电线路距离长、可跨越障碍的特点,对元胞自动机邻居模型进行了改进。图 4 为改进的元胞自动机邻居模型,图中,黑色元胞为线路上当前标记点位置元胞,当前标记点位置元胞的所有邻居,下一标记点位置元胞从邻居元胞中选择产生(从邻居元胞中选择 1 个)。

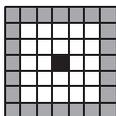


图 4 改进元胞自动机邻居模型

Fig.4 Neighbor model of improved cellular automata

采用改进元胞自动机邻居模型,邻居元胞需要满足以下条件:

- a. 在规定的搜索步长范围内;
- b. 元胞类型为 A;
- c. 元胞状态为 0;
- d. 每次搜索形成的线路不能和已形成的线路重合或交叉。

满足以上 4 个条件的元胞成为当前元胞的邻居元胞,是下一标记点的待选位置。若不存在元胞同时满足以上 4 个条件,则自动拉近搜索步长,重新搜索判断。自动拉近搜索步长可以有效地避开搜索过程中的障碍。

以搜索步长范围为 350~450 m,即搜索区域距当前标记点元胞的最小距离限制 $f=350$ m,最大距离限制 $g=450$ m,搜索区间为 $[f,g]=[350,450]$ 为例,若搜索结束时邻居元胞个数为 0,则搜索区间拉近 100 m,具体的邻居元胞确定流程如图 5 所示。

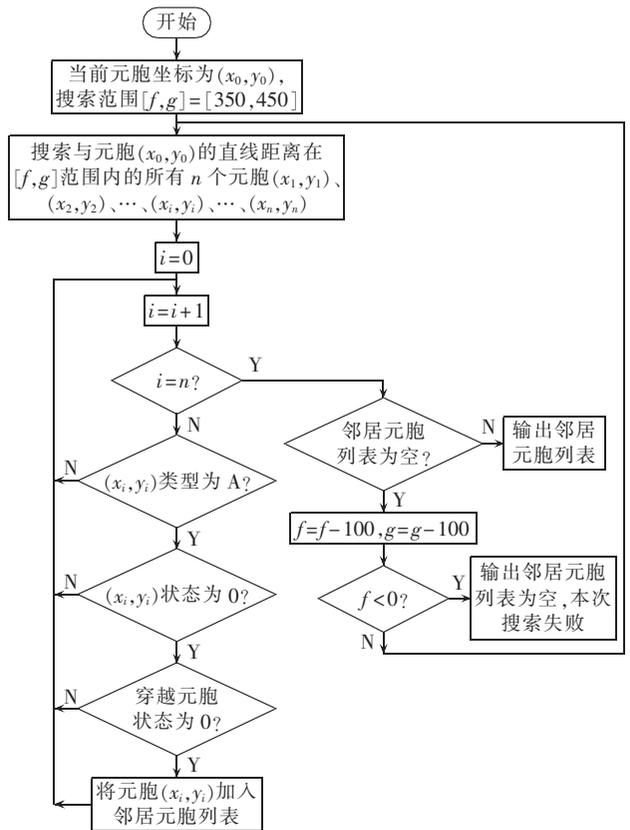


图 5 确定邻居元胞流程图

Fig.5 Flowchart of neighbor cellular confirmation

3.3 元胞转化规则

本文所提元胞自动机邻居模型的转换规则实质就是线路导向线的延伸规则。元胞自动机路径搜索模型以上一时刻 $(t-1)$ 时刻产生的标记点为基准,确定其邻居元胞,依照邻居元胞的转化概率,以轮盘赌方式随机确定邻居元胞中的某一个元胞为此时刻 (t) 时刻)标记点,并将其状态转化为 1。元胞转化过

程如图 6 所示。

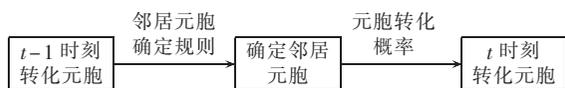


图 6 元胞转化过程

Fig.6 Cellular transformation process

二维元胞自动机模型搜索过程随机性强,算法复杂度高,求解最佳路径时需要极长的运行时间和极大的存储空间,搜索目的性低导致结果很难令人满意,且搜索区域每增加 1 行 1 列,计算量也会急剧增加。因此,本文在元胞转化概率部分引入了启发式搜索机制。启发式搜索机制包含了局部成本最优机制、全局方向控制机制和蚁群算法中的信息素机制。

(1) 局部成本最优机制。

输电线路设计在保证其安全性、可靠性的前提下,以经济性为其主要优化目标。局部成本最优机制即在确定 t 时刻转化元胞过程中,成本低的元胞转化概率高。

在元胞转化概率中加入成本控制系数 b ,则位置坐标为 (x,y) 的邻居元胞的成本控制系数为:

$$b_{xy} = \frac{1}{c(x,y)} \quad (2)$$

其中, $c(x,y)$ 为位置坐标为 (x,y) 的邻居元胞的成本值。

(2) 全局方向控制机制。

二维平面路径搜索的搜索方向随机性很强,搜索过程容易陷入局部最优,也常常产生路径迂回现象。本文算法引入了全局方向控制机制,以终点为控制点,使路径搜索方向趋向于终点方向。

全局方向控制机制如图 7 所示,图中,中央的元胞为基准元胞,元胞 1、元胞 2 为 2 个邻居元胞。从基准元胞分别向邻居元胞和终点方向连线,产生的夹角作为方向控制量,角度越小,搜索方向越倾向于终点方向。

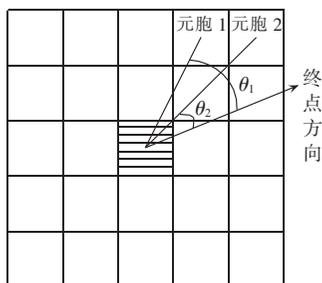


图 7 方向控制机制

Fig.7 Direction control mechanism

在元胞转化概率中加入方向控制系数 a ;在 t 时刻,当前元胞坐标为 (x_i,y_i) ,邻居元胞坐标为 (x_j,y_j) ,终点元胞坐标为 (x_d,y_d) 。以元胞 (x_i,y_i) 为顶点,分别

向元胞 (x_j,y_j) 和元胞 (x_d,y_d) 引出连线,连线夹角为 θ ,则元胞 (x_i,y_i) 的方向控制系数 $a_{xy} = \cos \theta$,即线路方向越偏向终点,该线路上元胞方向控制系数越大。

全局方向控制可以减小路径长度,减少线路转弯,从而减小输电距离和转角杆塔数量,有利于经济性的提高。

(3) 蚁群算法信息素机制。

按 1.2 节所述方法引入蚁群算法中的信息素机制,使每次搜索向最佳路径的方向发展。同时设定信息素挥发系数,避免因多次搜索积累信息素浓度过高而产生的早熟收敛。

在元胞转化概率中引入信息素控制系数 m ,建立信息素浓度矩阵,每个位置元胞信息素浓度为 m_{xy} ,各元胞的初始信息素浓度相同。采用信息素更新机制,在每组若干次成功搜索后,为线路上元胞增加 Δm 的信息素浓度。

$$\Delta m = \frac{1}{C_t} \quad (3)$$

其中, C_t 为线路总成本。

设定信息素挥发系数,新信息素矩阵中位置坐标为 (x,y) 的元胞的信息素浓度 m'_{xy} 为:

$$m'_{xy} = (1 - \sigma)(m_{xy} + \Delta m) \quad (4)$$

其中, σ 为信息素挥发系数, $\sigma \in (0,1)$ 。

更新信息素浓度后继续进行下一组运算,信息素控制系数越大,元胞转化概率越高。

方向控制系数 a 、成本控制系数 b 、信息素控制系数 m 的控制强度分别为 α 、 β 、 γ ,则邻居元胞转化概率 $p(x,y)$ 为:

$$p(x,y) = a_{xy}^{\alpha} b_{xy}^{\beta} m_{xy}^{\gamma} \quad (5)$$

邻居元胞中只有一个元胞能够成功转化,将所有邻居元胞转化概率进行归一化处理,处理后的元胞转化概率为:

$$p_t(x,y) = \frac{p(x,y)}{p_{\text{sum}}} \quad (6)$$

其中, p_{sum} 为 t 时刻所有邻居元胞的转化概率之和。

在确定每个邻居元胞的转化概率 $p_t(x,y)$ 后,采用轮盘赌方法,随机选取邻居元胞中的一个为下一转化元胞。

3.4 线路成本

初始时,起点元胞为第一个标记点,状态为 1,其他元胞状态为 0。在 t 时刻,新搜索到的标记点状态变为 1,其与 $t-1$ 时刻搜索到的标记点间形成线路,线路穿越元胞状态变为 2。则本段线路成本 C_t^i 为:

$$C_t^i = \frac{\sum_{i=1}^n c_{i0 \rightarrow 2}(i) + c_{i0 \rightarrow 1}}{n+1} l_i \quad (7)$$

其中, n 为在 t 时刻状态由 0 转化为 2 的元胞个数,

即线路元胞个数; $c_{i0 \rightarrow 2}(i)$ 为在 t 时刻状态由 0 转化为 2 的第 i 个元胞成本值; $c_{i0 \rightarrow 1}$ 为 t 时刻状态由 0 转化为 1 的元胞成本值; l_t 为 t 时刻转化元胞与上一标记元胞的距离。

输电线路要尽可能减少转角数量,设定若 t 时刻形成线路与上一时刻形成线路产生夹角,那么 t 时刻线路成本提高 30%。

设线路总成本为 C_t ,则有:

$$C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_t + C_d \quad (8)$$

其中, $C_1, C_2, \dots, C_t, C_d$ 为搜索到终点时每一时刻的线路成本。

3.5 改进元胞自动机模型路径自动搜索流程

高压输电线路距离长,研究区域范围大,为减小数据量,保证搜索的准确性,对研究区域进行分段处理。在起点与终点之间通过在图上标绘确定线路必须通过的关键点,相邻关键点之间为具体研究区。通过每个具体研究区路径自动搜索,组合得到最终路径结果。搜索流程图如图 8 所示。

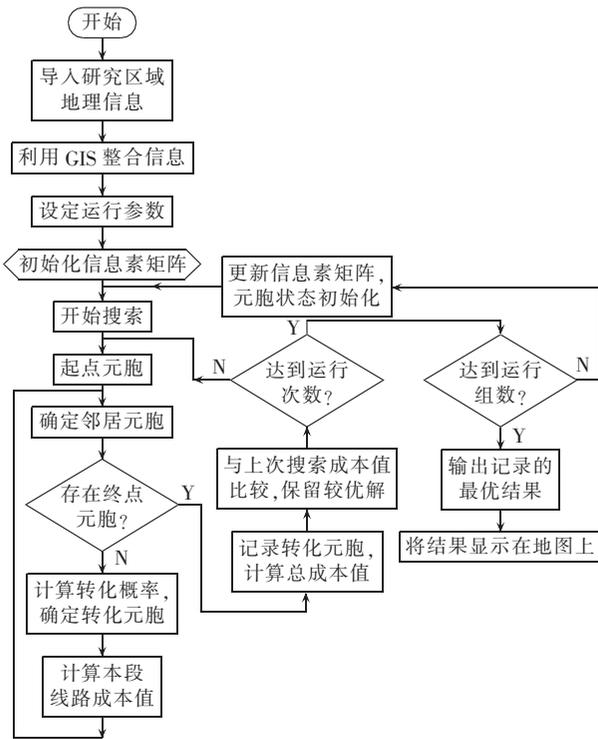


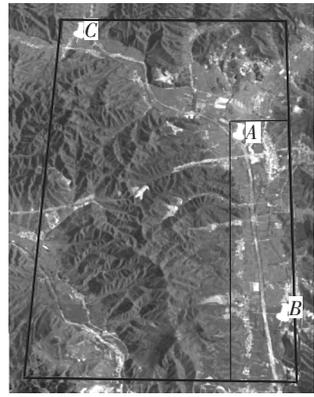
图 8 路径搜索流程图

Fig.8 Flowchart of path search

4 算例验证

根据本文算法设计原理,以 Mapinfo 和谷歌 GIS 作为软件平台,应用 C# 技术开发输电线路路径自动选择功能模块。

算例选择的测试区域如图 9 所示。测试区的起点为 C 、终点为 B ,南北方向的距离为 26 km,东西方向的距离为 16.75 km,对长距离线路进行分段处理,



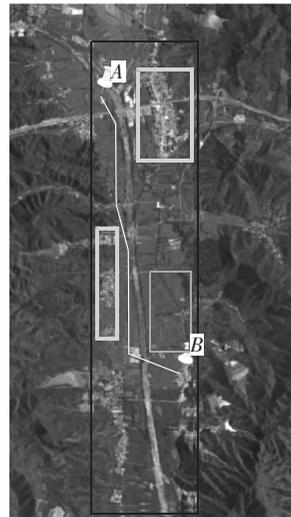
测试区域, 测试具体研究区

图 9 测试区航拍图

Fig.9 Aerial photo of test region

设置参考点 A ,划定测试具体研究区。

测试具体研究区的放大图如图 10 所示,其起点为 A 、终点为 B ,南北方向的距离为 17.9 km,东西方向的距离为 4.2 km,中央南北方向的河流和上部东西方向的公路为需跨越障碍。居民区和试验田区为需避让区域。下面针对该测试具体研究区域进行具体路径搜索测试。



测试具体研究区, 居民区, 试验田区

图 10 具体测试区放大图

Fig.10 Enlarged picture of specific test region

(1)利用谷歌GIS 获取区域地理图像和地形、高程、地质等相关地理信息,利用 Mapinfo 生成栅格地图,元胞尺寸设定为 $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ 。补充协议区、风速、覆冰等其他相关地理信息,判断可行区域设定各元胞类型,同时确定各指标因子评分,生成元胞属性信息表。

(2)将评分结果代入到建立的层次结构模型,得到各元胞成本值。将元胞坐标、元胞类型、元胞成本值对应导入路径自动选择功能模块。根据测试具体研究区的情况,输入搜索参数,具体参数如下。

a. 测试具体研究区的起点坐标为(32,0)、终点坐标为(202,55),行数、列数分别为 300、70。

b. 程序参数: $f=600\text{ m}$, $g=700\text{ m}$; $\sigma=0.3$; $\alpha=1$, $\beta=1$, $\gamma=0.8$;运行组数为 50,每组运行次数为 30。

(3)运行该模块,得到线路标记点元胞坐标为:
(32,0)→(40,7)→(50,10)→(60,12)→(70,12)→
(80,12)→(90,12)→(100,12)→(110,15)→(120,17)
→(130,20)→(140,20)→(150,20)→(160,20)→
(170,20)→(180,20)→(190,20)→(192,27)→
(195,35)→(197,42)→(202,55),记录坐标结果,并
显示在地图中。

运行结果如图 10 所示,设计路径成功跨越了公路和河流,避开了限制区,综合多个地理信息因素,由起点到达了终点,完成了输电线路路径计算机自动选择。

5 结论

a. 以 GIS 作为平台,结合专家经验,以定性分析和定量评估结合的层次分析法确定元胞成本值,可以有效地整合地理信息,结果能够定量地表达各评价单元适宜度。

b. 本文提出的元胞自动机邻居模型,符合输电线路设计的特点。在自动搜索模型中采用启发式搜索,提出 3 个影响元胞转化概率的因子,明确了搜索的目的性,使得算法同时兼顾准确性和收敛速度。

c. 元胞自动机输电线路路径选择模型实现了计算机自动选择输电线路路径,路径初选更具科学性和经济性,提高了工作效率。

参考文献:

- [1] 孟遂民,李光辉,王正平. 输电线路 GIS 的总体设计[J]. 武汉水利电力大学(宜昌)学报,1999,33(4):334-337.
- [2] 王小兵,孙久运. 地理信息系统综述[J]. 地理空间信息,2012,10(1):25-28.
- [3] 汤国安,赵牡丹,杨昕,等. 地理信息系统[M]. 2版. 北京:科学出版社,2010:1-5.
- [4] 唐跃中,邵志奇,郭创新,等. 数字化电网体系结构[J]. 电力自动化设备,2009,29(6):115-118.
- [5] 杨泰平,唐川,段永坤,等. RS 和 GIS 在高压输电线路选线中的应用[J]. 地理空间信息,2010,8(2):115-117.
- [6] 陈海鹏,冯飞. 基于 3 维 GIS 的输电线路辅助初步设计系统实现[J]. 北京测绘,2013(5):67-69.
- [7] 吴志诚,肖绚. 基于二维概率元胞自动机的 HBV 动力学模型[J]. 计算机工程与应用,2008,44(4):201-203,207.
- [8] 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,2001:79-88.
- [9] 李学伟,吴今培,李雪岩. 实用元胞自动机导论[M]. 北京:北京交通大学出版社,2013:43-45.
- [10] 段晓东,王存睿,刘向东. 元胞自动机理论研究及其仿真应用[M]. 北京:科学出版社,2012:8-12.
- [11] TAKEYAMA M,COUCLELIS H. Map dynamics:integrating cellular automata and GIS through Geo-Algebra[J]. International Journal of Geographical Information Science,1997,11(1):73-91.
- [12] 张山山,边馥苓. 地理信息系统数据模型分析[J]. 测绘通报,2004(8):18-21.
- [13] 马良,朱刚,宁爱兵. 蚁群优化算法[M]. 北京:科学出版社,2008:47-56.
- [14] SAATY T L,FORMAN E H. The hierarchon:a dictionary of hierarchies[M]. Pittsburgh,USA:R W S Publications,1996:186-221.
- [15] JEAN-LUC B,JACQUES-OLIVIER H. Von Neumann's 29-state cellular automaton:a hardware implementation[J]. IEEE Transactions on Education,2000,43(3):300-308.
- [16] 李晓骏,邱家驹. 基于三维 GIS 技术的输电线路地理信息系统的设计与实现[J]. 电力系统及其自动化学报,2003,15(1):5-9.
- [17] 朱义中,陈雄波. 基于 GIS 的输电线路决策支持系统优选路径[J]. 四川理工学院学报(自然科学版),2008,21(1):81-84.
- [18] 陈小东,赵强,孟颖超. 基于元胞自动机的输电规划 GIS 路径决策[J]. 广东输电与变电技术,2010,12(1):67-70.
- [19] 苏海锋,SHA O Zhiqi,GU O Chuangxin,et al. Digital power grid architecture[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(6):115-118.
- [20] YANG Taiping,TANG Chuan,DUAN Yongkun,et al. Application of RS and GIS to the route selection of the high voltage transmission lines[J]. Geospatial Information,2010,8(2):115-117.
- [21] 陈海鹏,冯飞. 基于 3 维 GIS 的输电线路辅助初步设计系统实现[J]. 北京测绘,2013(5):67-69.
- [22] CHEN Haipeng,FENG Fei. Application of 3D GIS in power transmission line preliminary design system implementation[J]. Beijing Surveying and Mapping,2013(5):67-69.
- [23] 吴志诚,肖绚. 基于二维概率元胞自动机的 HBV 动力学模型[J]. 计算机工程与应用,2008,44(4):201-203,207.
- [24] WU Zhicheng,XIAO Xuan. Dynamical model for HBV based on 2D probability cellular automata[J]. Computer Engineering and Applications,2008,44(4):201-203,207.
- [25] 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,2001:79-88.
- [26] 李学伟,吴今培,李雪岩. 实用元胞自动机导论[M]. 北京:北京交通大学出版社,2013:43-45.
- [27] 段晓东,王存睿,刘向东. 元胞自动机理论研究及其仿真应用[M]. 北京:科学出版社,2012:8-12.
- [28] TAKEYAMA M,COUCLELIS H. Map dynamics:integrating cellular automata and GIS through Geo-Algebra[J]. International Journal of Geographical Information Science,1997,11(1):73-91.
- [29] 张山山,边馥苓. 地理信息系统数据模型分析[J]. 测绘通报,2004(8):18-21.
- [30] ZHANG Shanshan,BIAN Fuling. Analysis of data model in GIS[J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2004(8):18-21.
- [31] 马良,朱刚,宁爱兵. 蚁群优化算法[M]. 北京:科学出版社,2008:47-56.
- [32] SAATY T L,FORMAN E H. The hierarchon:a dictionary of hierarchies[M]. Pittsburgh,USA:R W S Publications,1996:186-221.
- [33] JEAN-LUC B,JACQUES-OLIVIER H. Von Neumann's 29-state cellular automaton:a hardware implementation[J]. IEEE Transactions on Education,2000,43(3):300-308.
- [34] 李晓骏,邱家驹. 基于三维 GIS 技术的输电线路地理信息系统的设计与实现[J]. 电力系统及其自动化学报,2003,15(1):5-9.
- [35] LI Xiaojun,QU Jiaju. Design of a geography information system in power transmission management based on 3D GIS technology[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA,2003,15(1):5-9.
- [36] 朱义中,陈雄波. 基于 GIS 的输电线路决策支持系统优选路径[J]. 四川理工学院学报(自然科学版),2008,21(1):81-84.
- [37] ZHU Yizhong,CHEN Xiongbo. Optimum selection of route by means of decision support system of transmission line based on GIS[J]. Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition),2008,21(1):81-84.
- [38] 陈小东,赵强,孟颖超. 基于元胞自动机的输电规划 GIS 路径决策[J]. 广东输电与变电技术,2010,12(1):67-70.
- [39] CHEN Xiaohong,ZHAO Qiang,MENG Yingchao. GIS transmission planning path decision-making based on cellular automata theory[J]. Guangdong Power Transmission Technology,2010,12(1):67-70.

作者简介:



苏海锋

苏海锋(1977—),男,河北石家庄人,讲师,博士,主要从事电网规划及智能配电网方面的研究工作(E-mail:hfsups@163.com);
石经纬(1990—),男,北京人,硕士研究生,主要研究方向为输电线路设计规划;
梁志瑞(1959—),男,河北邯郸人,教授,博士,从事电力系统自动化、电力系统监测与故障诊断技术的教学与研究工作。

(下转第 122 页 continued on page 122)

Practical short-term dispatch model of hydro-thermal power system and solution

ZHANG Menglin, HU Zhijian, WANG Xiaofei, HU Mengyue

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: With a large-scale hydro-thermal power system in a power grid as an example, its combined dispatch problem is formulated as two sub-problems of time-sequence optimization based on its decoupling mechanism for energy saving and practical application. In the sub-problem of thermal power optimization, apart from the conventional constraints, the up-down direction constraints of thermal power unit outputs and the fluctuation threshold constraint of total thermal power load between adjacent time intervals are applied to ensure the smooth output of thermal power units; in the sub-problem of hydro power optimization, the daily average output constraints and vibration zone constraint of hydropower plants are considered to make full use of hydropower. The improved teaching-learning-based optimization algorithm with flexible updating strategy is adopted to solve two sub-problems and different heuristic constraint handling strategies are designed for the complex constraints with strong coupling between two sub-problems of optimization. The simulative results of day-ahead dispatch for a hydro-thermal power system with 15 thermal power plants and 29 hydro power plants verify the feasibility and practicability of the proposed model and the effectiveness of the proposed solution.

Key words: hydro-thermal power system; practical dispatch model; smooth unit output constraint; teaching-learning-based optimization algorithm; heuristic constraint handling; flexible updating strategy

(上接第 114 页 continued from page 114)

Automatic transmission line path selection based on GIS and improved CA

SU Haifeng¹, SHI Jingwei¹, LIANG Zhirui¹, WU Changqing²

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Chongqing Electric Power Design Institute, Chongqing 400030, China)

Abstract: The complicated geographical information in the geographical units is integrated by the GIS technology and the analytic hierarchy process, and based on the CA (Cellular Automata) model, an automatic transmission line path selection model is built according to the features of transmission line design, which adopts the heuristic search, includes the partial cost control and overall direction control, and integrates the pheromone updating mechanism of ant colony algorithm. With the geographical data provided by Google GIS, an automatic transmission line path selection program is developed by C#2010 to verify the efficiency of the proposed model.

Key words: power transmission; transmission line path selection; geographic information system; analytic hierarchy process; cellular automata; heuristic search; ant colony optimization