

露天矿运输道路网络的建立及其路径优化

孙臣良, 刘 静

辽宁工程技术大学资源与环境学院, 辽宁阜新 123000

摘要 分析露天矿道路组成,对露天矿道路的不同路段进行合理划分,划分方法涉及到道路的路面质量、坡度和承载能力等因素,从而完成对露天矿道路的描述。提出露天矿道路网络节点的选取原则及其网络边权值的计算方法。建立起露天矿道路网络模型,设计露天矿道路网络数据库作为道路网络模型的后台数据库支持,数据库中包括网络节点数据表和节点间关系数据表,每个网络节点对应一个路段端点,每个关系对应一条网络边。设计出网络图节点的自动提取程序,并将节点数据信息自动存储到露天矿道路网络数据库中。选择粒子群算法作为道路网络路径的优化算法,实现了求解指定两点间的最短路径的粒子群算法。程序将搜索到的最优路径自动显示到网络图中,并达到了较高的搜索精度。

关键词 露天矿道路网络模型;路段;网络图;数据库

中图分类号 TD57

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.30.006

Establishment of Surface Mine Road Networks and Optimization of Their Transportation Route

SUN Chengliang, LIU Jing

College of Resource and Environmental Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

Abstract By analyzing surface mine road components, the surface mine road is reasonably divided into different sections; the road surface quality, slope, bearing capacity, and other factors are used to describe the surface mine road. The calculation method involving selection principle of surface mine road network nodes and the network edge weights is proposed, a surface mine road network model is established. The database of surface mine road network is designed for the background data support of surface mine road network model. In the database, there is a table for the network nodes and also a table for the relationship between the nodes; each node corresponds to a section node, each relation corresponds to a network edge. The extraction procedure to automatically pick up the network diagram node is designed and the information of node data is automatically stored into the surface mine road network database. The Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is selected for the road network path optimization; the PSO involving the shortest path between the specified two points is achieved. The optimal path is automatically displayed on the network diagram with the relative high search precision.

Keywords network model of surface mine road; section; network diagram; database

0 引言

目前,基于路段中心线的二维道路网络模型已经普遍存在,但其在几何特征及拓扑关系表达等方面都难以满足复杂道路系统的需求^[1]。当露天矿的道路网络中必须涵盖道路的坡度、路面质量、路况等信息时,中心线信息便显得无能为力。因此,本文将露天矿道路划分为不同的路段来进行描述,将路段抽象为带有诸多属性的三维网络,从而更为准确地刻画了露天矿运输道路网络。同时露天矿道路网络是一个动态

网络,需要对其进行实时更新。人工智能算法在求解最优路径方面已经得到了很好的运用,粒子群算法做为其典型代表发展也较为迅速,可作为露天矿道路路径优化的算法加以尝试。对露天矿道路路径进行优化,从而缩短运距,对于减少设备损耗、节能和减少环境污染都具有重要意义^[2]。

1 运输道路网络的组成和描述

露天矿运输道路网络是由采场采掘点、采场运输线路、平

收稿日期:2011-03-28;修回日期:2011-10-11

作者简介:孙臣良,副教授,研究方向为数字矿山,电子信箱:han_yiran@163.com

盘间出入沟、采场运输干线、采场出入沟、地面运输线路、排土场出入沟、排土场内部干线、排土场平盘间坡道、排土线排土点等相关要素相互连接、相互交织,能够联系整个露天矿山采掘与排卸的运输网络模型。

露天矿运输道路指标受到行车密度、行车数量及行车速度等因素影响,按其承担作用及位置分为生产干道、生产支线和联络线。连接各开采水平和各排土场水平的运输线路为生产干线;生产支线是连接各开采水平(或者各排土场水平)上采掘点(或者排土点)和生产干线道路;联络线路是指除了生产干道和生产支线以外的道路,它的变化也最频繁。生产支线随着工作线的推进而移设;生产干道比较固定,在一定时期内一般不会发生变化,路面质量好,但维护费用也较高^[9]。基于以上的不同,对3种线路进行划分和描述时应该充分考虑到不同道路的不同属性,这样才能客观真实的体现整体露天矿运输道路的实际状况和不同道路的相互关系,才能为下一步的露天矿道路的路径优化提供更为准确的基础模型。

根据各种道路的不同性质将露天矿运输线路分为各个区段,然后对各区段进行简化,以道路的中心线作为网络图的边,各区段之间的连接点作为网络的节点,同时节点还包括各采掘点、选矿点和排土点。由于运输道路各组成要素的稳定性是不同的,例如生产干道较为稳定,因此可以先提取运输干道组建基本网络;由于生产支线的变化较为频繁,可将其当做动态变化线路加入基本网络中;同样采掘点和排卸点也动态的加入到运输道路网络中,并且随着生产支线不断变化更新。这样就形成了完整的露天矿道路网络模型。

2 运输道路网络图节点选取原则及弧权值的确立

运输道路网络图节点选取原则:(1) 设定采掘设备位置作为道路网络图的入节点;(2) 平盘与其他采场道路的连接点或转折点作为中间节点;(3) 平盘出入沟端点和平盘间的升降坡道端点作为中间节点;(4) 采场出入沟与地面运输道路的连接点作为中间节点;(5) 根据线路属性(包括线路的坡度、线路的高程、线路的质量)进行划分,具有相同属性参数的区段划分为一条边,区段之间以节点分隔(包括线路交叉点、变坡点),这些节点也作为中间节点;(6) 排土场出入沟坡道与地面运输系统的连接点作为中间节点;(7) 排土场排卸位置、贮矿场卸载位置等节点作为网络图的收点。

节点参数设置:(1) 节点的特征参数,如采掘位置节点、排弃位置节点等;(2) 节点的编号,如平盘号、排弃位置号等;(3) 节点的三维坐标, x 坐标, y 坐标,高程 z 坐标。

依据露天矿某一阶段的节点关系将节点连接成网络,同时确定网络弧的权值。各路段的权值根据如下方法确立:

(1) 如两节点之间直线段相连接的,且没有中间节点,则两个节点间弧的权值 L_{ij} 用两点间距离公式(1)计算。

设两点坐标为 $i(x_1, y_1, z_1)$ 、 $j(x_2, y_2, z_2)$,则连接两点边的权值为

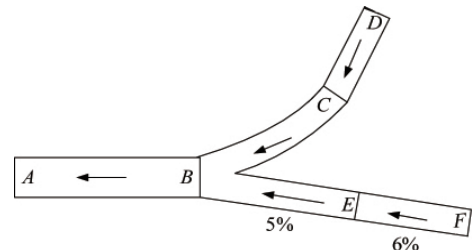
$$L_{ij} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

(2) 如果两节点之间是不连通的则设定其弧的权值为无穷大,节点到其自身弧的权值为0。

3 运输道路网络的生成

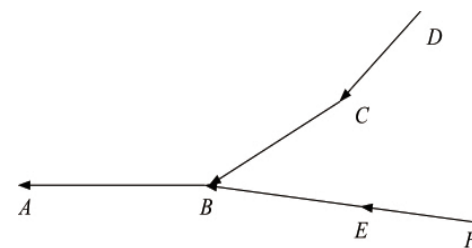
路段按照道路不同路段的不同属性(道路类型、路面质量、坡度、落差等)进行划分,所有属性均相同的道路才可以划分为一个路段,相邻路段通过节点相连接,实际道路的中心线以路段的形式作为网络图的边。图1为运输线路的简化过程,其中 A, B, C, D, E, F 为节点,箭头所指方向为载重卡车的行驶方向,坡度上坡为正值、下坡为负值,其中,因为 AB 为干道和 BC 为干道和生产支线相衔接处的弯道,它们的路面质量和通货能力都存在差距。支线 BD 在 C 处开始转为直道,另一个支线 BF 为上坡道,且在 E 处坡度发生变化。在以上差异基础上将道路进行简化,简化后的道路如图1(b)所示。

运输道路网络模型的节点和弧的权值确定后,就可以建立起生产干线基本网络模型。干线网络模型是根据露天矿道路的干道生成的,一般在一定时期内不会有太大变动。而生产支线(工作线)位置,随着矿山采剥工程的发展而不断延伸和移动的。将生产支线直接连接到生产干线上,或者通过联络线连接到干线网络模型中,再加入采掘设备位置点和排土点,这样一个完整的露天矿道路网络模型就建立完成了,它会随着采剥工程的发展而不断发展变化。



(a) 原线路图

(a) Diagram of original lines



(b) 简化后线路图

(b) Diagram of simplified lines

图1 线路区段划分原理示意图

Fig. 1 Scheme of line segments partition

4 运输道路网络的数据库设计

利用数据库与道路网络图相配合使用,网络图中每个节点数据对应数据库中的一条节点信息,网络图中的一条边对应数据库中的一条关系信息,是一一对应的。通过 AutoCAD

的二次开发实现数据库和网络图信息的相互转换,在进行路径优化时,程序从数据库中提取网络边的权值信息,进而进行优化选择。根据运输道路网络模型和粒子群算法参数设置的要求,进行数据库设计^[4]。

采用 Microsoft Office Access 2003 建立网络数据库,该数据库支持 Microsoft Office Access 2003 及其以上版本,命名为“露天矿运输系统”,数据库中建立节点表和关系表。节点表用于存储网络模型的节点信息,关系表存储节点与节点之间的关系信息。节点变动引起节点之间关系的变化。

节点数据表存储的信息包括节点的横坐标、纵坐标、高程、节点位置属性和节点所在采区名,节点位置属性用来标注节点属于那种线路上的节点,当有几个采区时可利用采区名称标注其所在采区。节点表的设计如表 1 所示。

表 1 节点数据表
Table 1 Node data sheet

字段名	字段类型	字段注释
pno	数字	节点号
x	数字	节点横坐标
y	数字	节点纵坐标
z	数字	节点高程
preper	数字	节点位置属性
cqname	文本	节点所在采区名称

关系数据表用来存储节点间的关系信息。关系表中存储点号和点坐在采区名,两点间如果有连接关系其关系属性数值为 1,否则为 0。对于关系属性数值为 1 的 2 个点,用 dist 字段标注其距离长度。表 2 为关系表设计。

表 2 关系数据表
Table 2 List of relational data

字段名	字段类型	字段注释
pno1	数字	节点 1 号
pno2	数字	节点 2 号
relate	数字	节点关系
cqname1	文本	节点 1 所在采区名
cqname2	文本	节点 2 所在采区名
dist	数字	两节点间的距离

两张数据表的建立为露天矿道路网络提供了基本的数据库支持,关系数据表中的两点距离信息是进行路径优化选择的主要依据。

5 内蒙古某露天矿道路网络模型的建立

根据该露天矿实际情况,依照以上关于露天矿运输系统模型建立的过程构建该露天矿运输系统网络模型,首先提取两条主干线路,然后再提取与主干线路相连接的生产支线、平盘支线、排土场支线和联络线路,从而建立基本道路网络,最后根据需要提取采掘点和排土点。提取道路节点和道路路段信息的过程中,这些道路信息也被保存到了后台数据库中。图 2 为提取道路网络以后的道路网络平面图,其中两条蓝色折线表示主干道路的位置,黑色折线表示其他道路位置。

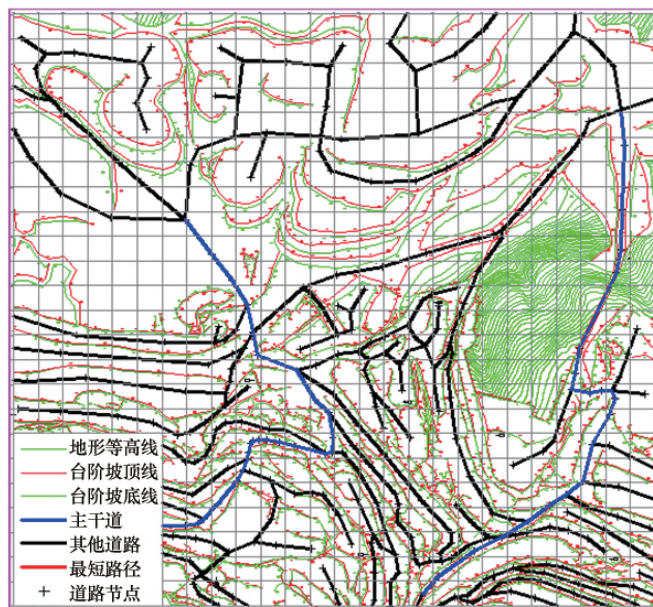


图 2 某露天矿道路网络图(部分)

Fig. 2 Road network map of a open-pit mine (in part)

表 3 和表 4 分别记录了改露天矿部分道路节点信息和部分节点关系信息(即路段信息)。

表 3 节点数据(部分)
Table 3 Node data (in part)

pno	x	y	z	preper	cqname
-298770	36401.16418	-67126.7390	848.5	采矿点	南坑
-298760	36273.88972	-67010.5541	860.6	采矿点	南坑
-298737	38109.63901	-68877.4478	894.1	平盘点	南坑
-298576	36185.76368	-66915.4489	872	平盘点	南坑
-298530	36617.74046	-67295.8402	825	平盘点	南坑
-298426	37284.04406	-67901.7198	775	平盘点	南坑
-298340	37103.48502	-67713.5513	776	平盘点	南坑
-298172	37147.13480	-67743.0390	778.7	干线点	干道
-298077	37393.73660	-68010.0381	808.6	平盘点	南坑
-297953	36569.26940	-67202.8167	838.2	剥离点	南坑

表 4 关系数据 (部分)
Table 4 Relational data (in part)

pno1	pno2	relate	cqname1	cqname2	dist
-305871	-307024	1	干道	干道	89.0333865
-307024	-308779	1	干道	干道	130.9989915
-308779	-309710	1	干道	干道	70.02121363
-309710	-310792	1	干道	干道	76.64988817
-310792	-311299	1	干道	干道	40.79276394
-274974	-272829	1	南坑	南坑	166.3679094
-272829	-272080	1	南坑	南坑	58.12315352
-272080	-271360	1	南坑	南坑	76.11171775
-271360	-269893	1	南坑	南坑	104.585101
-271360	-271634	1	南坑	南坑	56.33982215

6 应用粒子群算法对道路网络进行路径优化

为了实现在给定优化起点和终点的条件下寻找最短路径,把一条路径作为粒子群算法的一个解。则粒子群转化为一组路径,粒子群的粒子数目即为路径数。每条路径对应粒子群算法的一个解,粒子在迭代过程中通过跟踪粒子自身迄今所搜索到的最短路径和所有路径中的最短路径来更新自己。粒子的适应度值就是该粒子所代表路径的路径长度^[9]。

粒子群算法步骤如下。

(1) 初始化权重系数 ω 和收敛因子 k 。

(2) 建立两个子群 a 和 b , 初始化参数: 粒子数 N (a 群和 b 群粒子数相等), 学习因子 c_1, c_2 , 迭代次数 G_1 , 杂交次数 G_2 , 初始化概率 p , 杂交概率 q 和速度范围 $[-V_{max}, V_{max}]$ 。

(3) 按照 a, b 子群的粒子数目, 初始化 $2N$ 条路径作为粒子的初始位置, 初始化每个粒子的速度 $V_i \in [-V_{max}, V_{max}]$ 。

(4) 对于 a 子群和 b 子群中每个粒子运行以下步骤:

① 计算每条路径的路径长度, 将其作为粒子的当前适应度值, 把适应度值最小的粒子作为所属子群的最优粒子^[6-8];

② 粒子在各自的子群中更新粒子的速度和位置, 把粒子的适应度值作为粒子更新过程中局部解和最优解的选择标准;

③ 选择 a 子群中的粒子 a_k 和 b 子群中的粒子 b_k 进行杂交, 如式(2)—式(5)产生子代粒子^[9]

$$child_1(X) = P \cdot parent_1(X) + (1-P) \cdot parent_2(X) \quad (2)$$

$$child_2(X) = P \cdot parent_2(X) + (1-P) \cdot parent_1(X) \quad (3)$$

$$child_1(V) = \frac{parent_1(V) + parent_2(V)}{|parent_1(V) + parent_2(V)|} |parent_1(V)| \quad (4)$$

$$child_2(V) = \frac{parent_1(V) + parent_2(V)}{|parent_1(V) + parent_2(V)|} |parent_2(V)| \quad (5)$$

其中 X 是 D 维的位置向量; $child_k(X)$ 表示子代粒子的位置, $parent_k(X)$ 表示父代粒子的位置, $k=1, 2$; P 是 D 维随机数向量, 的每个分量都在 $[0, 1]$ 之间取值。 $child_k(V)$ 表示子代粒子的速度, $parent_k(V)$ 表示父代粒子的速度, 它们都是速度矢量。

④ 检查粒子的有效性, 如果有超出搜索范围的粒子, 将其初始化。

(5) 如果达到最大迭代次数(即杂交了 G_2 次), 则停止迭代, 输出最优结果, 否则返回步骤(4)。

图 3 中红色折线为程序自动搜索到的最优路径, 经验证优化结果与实际相符。

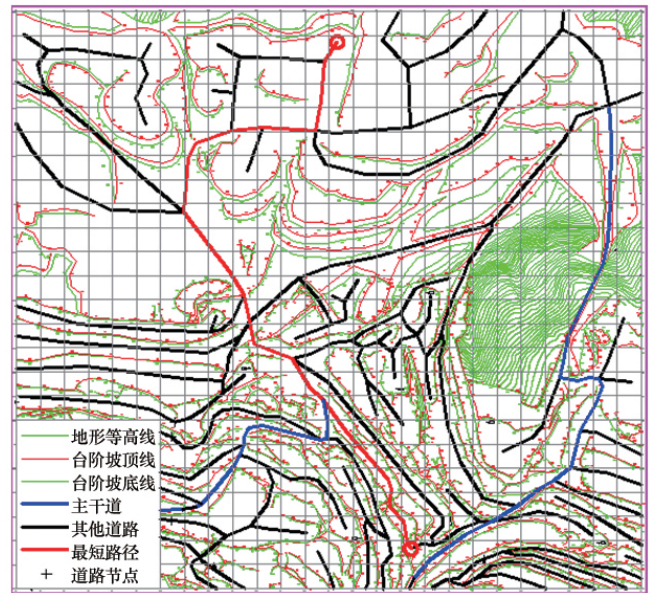


图 3 最优路径求解结果

Fig. 3 Results for the optimal path

7 结论

建立的露天矿道路网络模型更符合露天矿道路路面质量差别大、路况复杂、规模大和实时动态网络的特点。合理地表达出了露天矿运输的一条路径与粒子群算法中粒子的一一对应关系, 从而实现了粒子群算法在露天矿道路路径优化中的应用。充分发挥了粒子群算法收敛速度快、适用于大规模网络寻优的特点^[8-10]。本文建立了内蒙某露天矿道路网络模型, 设计出针对该露天矿道路的路径优化算法, 编制出基于粒子群算法的露天矿道路路径优化程序, 在该露天矿道路网

络模型上进行道路路径优化实验,求出在给定起始位置节点和目的节点的最短路径,并在该露天矿道路网络模型中显示最短路径。

参考文献 (References)

- [1] 郑燕飞. 构建基于车道的三维可视化道路网络模型 [D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
Zheng Yanfei. Construction of 3D visualization lane-based road network model[D]. Shanghai: East China Normal University, 2010.
- [2] 王纯义. 露天矿道路质量是影响卡车运输能力、成本、安全的重要因素[J]. 煤矿安全, 2001(1): 59-61.
Wang Chunyi. *Mine Safety*, 2001(1): 59-61.
- [3] 骆中洲. 露天采矿学[M]. 北京: 中国矿业学院出版社, 1986: 77-91.
Luo Zhongzhou. Open pit mining[M]. Beijing: China Mining University Press, 1986: 77-91.
- [4] 陈应显, 韩明峰. 加入随机初始化因素的杂交收敛粒子群算法[J]. 微计算机信息, 2011(2): 16-17.
Chen Yingxian, Han Mingfeng. *Microcomputer Information*, 2011(2):16-17.
- [5] 张旭梅, 邱哈光. 基于k-中心点法的改进粒子群算法在旅行商问题中的应用[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 13(1): 99-104.

- Zhang Xumei, Qiu Hanguang. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2004, 13(1): 99-104.
- [6] 程志刚. 连续蚁群优化算法的研究及其化工应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
Cheng Zhigang. Research of continuous ant colony optimization algorithm and its application in chemical engineering[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
 - [7] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构(C语言版) [M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 1997: 54-63.
Yan Weimin, Hao Weimin. Data structure (C-language version) [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 1997: 54-63.
 - [8] 梁震, 陈新军. 无向完全图的哈密顿回路[J]. 计算机科学, 2000, 27(11): 27-31.
Liang Zhen, Chen Xinjun. *Computer Science*, 2000, 27(11): 27-31.
 - [9] 程伟. 基于费用最小化的进口原油运输网络优化研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2009.
Cheng Wei. Study on transportation network optimization of import crude oil based on cost minimum[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2009.
 - [10] Dorigo M, Di C G. The ant colony optimization meta-heuristic: New ideas in optimization[M]. New York: McGraw-Hill, 1999.

(责任编辑 岳臣)

· 学术动态 ·

第十三届国际体视学大会在京召开

2011年10月20日由国际体视学学会主办,中国体视学学会、清华大学、北京科技大学共同承办的第十三届国际体视学大会,在北京清华大学校园内隆重召开。国际体视学大会每四年召开一次,旨在交流体视学发展的新理论和新方法,展示体视学理论方法在生物医学、材料科学、图像分析、CT和仿真领域里最新的研究成果和应用技术。国际体视学大会至今在欧美等地已举办了12届,本次会议是第一次在亚洲地区召开,这充分说明了体视学理论和方法在全球范围内的快速普及和发展,特别是亚洲地区已经成为体视学方法发展和应用的重要地区。

本次会议吸引了来自丹麦、法国、德国、美国等17个国家和地区的212篇论文投稿。国际体视学学会所有执委和来自16个国家的约200位代表参加了会议,现代体视学奠基人H.Gundersen教授及11位在体视学、生物学、材料学、图像技术等领域的世界级专家为大会作了精彩的专题报告,受到与会代表的热烈欢迎。大会还设立了体视学方生物医学、材料科学、图像与CT技术分会场,以及张贴报告分会场。此外,大会还设有“青年体视学家竞赛”讲坛,并评出青年体视学家竞赛获奖者。

在中国举办国际体视学大会,不仅得到了体视学界的积极响应和参与,还得到了中国科学技术协会、国家自然科学基金委员会的重视和鼎力支持。

背景资料

体视学是一种科学的方法学。主要是通过三维图像来研究三维结构或分布。三维结构可以是材料的微观组织结构,也可以是照片里面看到的地形地貌和地下矿藏,也可以是生物医学领域中的生物体的组织、器官等等。它们的共性就是维数比较高,比如是三维的并通常是不透明的,这就很难知道三维结构、分布是什么样的,而体视学就是解决这类问题的。就是从二维的界面上,从比较容易测量的图像里面找到它所包含的三维信息。就是从平面到立体。通俗地说,体视学是三维结构定量分析的方法学。

现在体视学方法越来越受到重视,美国在新药审批的时候,以及美国国家卫生科学研究院进行基金审批时,要求相关定量研究必须采用体视学方法。国际上著名的《科学杂志》、《比较神经科学杂志》、《老年神经生物学》等杂志明确要求,相关领域的定量研究必须采用体视学方法。国外许多SCI杂志,如果论文没有采用现代体视学方法进行定量研究,则拒绝刊登。国外在论文发表、基金申请等方面对体视学方法的强调,充分说明了体视学方法的先进性和重要性。

(本刊编辑部)