

文章编号: 1672-4747 (2017) 04-0038-06

基于 Dijkstra 和深度优先搜索的进路搜索算法研究

吴 鹏, 寇玮华, 许木南, 吕大鹏

(西南交通大学, 交通运输与物流学院, 成都 610031)

摘 要: 为了搜索铁路站场进路, 把铁路站场平面图转化为运输网络, 借鉴网络图中求最短路径的思想, 对网络图中的顶点和边赋予一定的属性, 建立了以最短路为目标函数的进路搜索数学模型。借鉴 Dijkstra 算法和深度优先搜索算法并进行改进, 对进路的搜索算法进行研究, 提出一种通用进路搜索算法, 可以大量减少搜索的深度, 提高搜索效率, 得到最优的进路。

关键词: 网络图; Dijkstra 算法; 深度优先搜索算法; 进路搜索

中图分类号: U292.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-4747.2017.04.006

Research on Route Searching Algorithms Using Dijkstra and Depth First Search

WU Peng, KOU Wei-hua, XU Mu-nan, LV Da-peng

(School of Transport and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The paper proposes a Dijkstra and Depth First Search-based algorithm to route the trains within railway stations. In particular, the railway station ground plan is transformed into a transportation network, and the routing problem becomes a shortest path search problem on the railway network graph. Numerical results indicate that the proposed shortest path search algorithm leads to reduced depth of search and improved searching efficiency.

Key words: network diagram; Dijkstra; depth first search; shortest path search

0 引 言

目前我国铁路现场采用的计算机联锁系统, 进路搜索普遍采用的方法是利用联锁表对大量进路进行搜索, 同时对搜索结果进行选择、优化, 耗费资源较大、搜索效率较低, 且随着铁路站场规模的扩大和改进, 使联锁表要进行不断更新。

陈志颖^[1]通过研究站场型数据结构形状与二叉树的相似性, 提出了一种基于站场型数据结构的新进路搜索算法; 肖蒙^[2]通过对铁路车站站场图与有向图的相似性进行研究, 建立网络拓扑结构与节点模型, 结合深度优先遍历算法对进路搜

索的算法; 耿杰^[3]对铁路站场与有向图的相似性进行研究, 建立基于铁路站场结构的拓扑模型, 在此基础上结合站场实际遍历的情况与图的深度优先遍历算法思路, 提出一种基于链表数据结构的连续遍历站场算法; 谢林^[4]运用 CAD 提取各个节点坐标设计出进路搜索算法; 占自才^[5]基于站场数据结构研究进路自动生成搜索算法; 张文泉^[6]对站场平面图进行了数据结构分析, 提出基于遗传算法的进路搜索算法。

相关的文献主要侧重对站场数据结构进行分析, 尚未建立起进路搜索的数学模型, 本文将 Dijkstra 算法和深度优先搜索算法相结合, 建立

收稿日期: 2016-12-14

作者简介: 吴鹏 (1993—), 男, 汉族, 西南交通大学交通运输与物流学院硕士研究生。

引文格式: 吴鹏, 寇玮华, 许木南, 等. 基于 Dijkstra 和深度优先搜索的进路搜索算法研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2017, 15(4): 38-43.

进路搜索的数学模型，通过改进现有的进路搜索方法，提出一种适用于铁路现场通用性的进路搜索算法，使其能够满足进路搜索的需要。

1 车站站场结构分析

在计算机联锁系统中，通过建立二维坐标体系，根据站场平面图中信号机、道岔、轨道区段等节点的位置，确定其坐标信息，以便于储存。车站站场图中，信号机、道岔、轨道区段等设备

前后之间存在一定的关系，因此可以把铁路车站站场看做是由各个设备按照一定的连接方式形成的一个图。在进路搜索过程中，通过起点信号机位置，逐步进行搜索得到给定的终点信号机位置，铁路现场工作中机车车辆走行都具有一定的方向并且很多线路都是可以进行搜索，因此可以把铁路车站站场图转化为一个有向图。图1是某一铁路车站的部分信号平面图，图2是根据车站信号平面图得到的站场网络图。

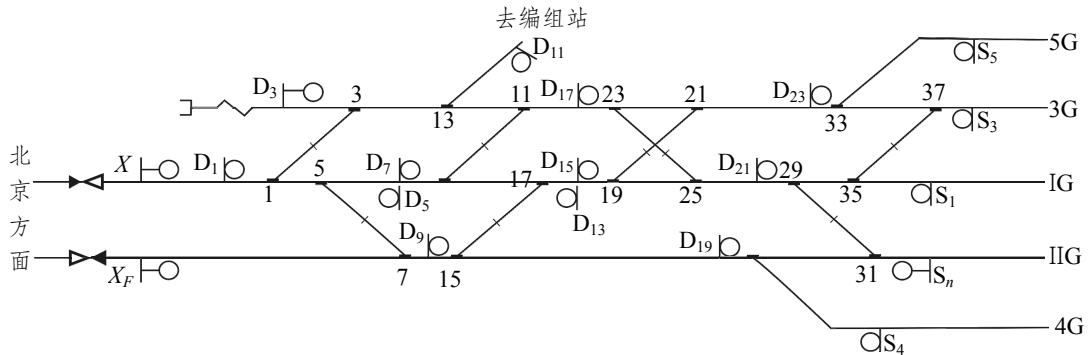


图1 某铁路车站信号平面图

Fig.1 Signal plan of a railway station

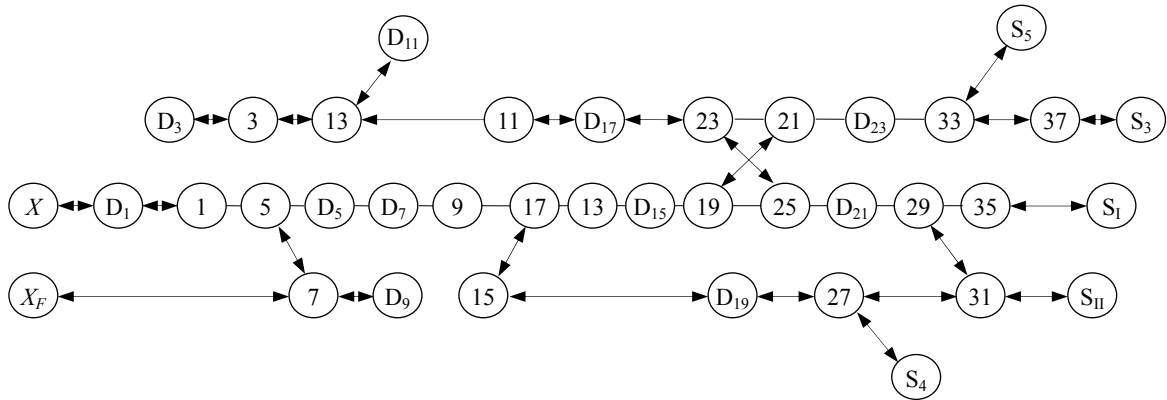


图2 车站站场网络图

Fig.2 Yard network of railway station

在该车站站场网络图中纯数字的是道岔顶点，只能作为进路的中间节点；其他的顶点是信号机顶点，可以作为进路的起点和终点。

是该有向图中的顶点 V ，节点之间的轨道区段看成是图中的边 E 。为此可以用图的形式把整个车站站场图表示出来：

$$G = (V, E)$$

式中：

- (1) V 是图 G 中顶点的集合，记做：

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i\}$$

2 进路搜索数学模型的建立

2.1 站场网络图分析

规定把站场图中的信号节点、道岔节点看成

(2) E 是图 G 中边的集合, 记做:

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_i\}$, e 为点的无序对 (v_i, v_j) , 且 $i \neq j$ 。

定义顶点 V 和边 E 的属性:

$$v_i = \{(x_i, y_i), g_i, g_i^* | i = 0, 1, \dots, n\}$$

式中, (x_i, y_i) 为顶点 v_i 的坐标, 根据坐标可以得到顶点的位置。

g_i 表示在站场图中从左向右搜索进路时顶点 v_i 属于的类型, g_i^* 表示在站场图中从右向左搜索进路时顶点 v_i 属于的类型, 其中:

$$g_i = \begin{cases} 0 & \text{该顶点为顺向道岔} \\ 1 & \text{该顶点不是道岔} \\ 2 & \text{该顶点为对向道岔} \end{cases}$$

$$g_i^* = 2 - g_i$$

因为从左到右搜索为顺向(对向)道岔, 那么从右到左搜索就为对向(顺向)道岔, 在进路搜索到 g_i 、 g_i^* 为 0 和 1 时, 进路搜索只有一个选择, 进路搜索方向不变。而当进路搜索到 g_i 、 g_i^* 为 2 时, 前方进路有两个选择。因此, 进路搜索的方向需要根据下面的搜索算法进行判断:

$$e_i = \{(v_i^A, v_i^B), d_i, w_i, a_i | v_i^A \in V, v_i^B \in V\}$$

式中, 规定 v_i^A 为进路搜索到边 e_i 上的第一个顶点, 坐标为 $v_i^A = (x_{i1}, y_{i1})$; v_i^B 为进路搜索到边 e_i 上的第二个顶点, 坐标为 $v_i^B = (x_{i2}, y_{i2})$ 。

d_i 表示边 e_i 的线路长度; w_i 表示边 e_i 的线路类型, 规定:

$$w_i = \begin{cases} 0 & \text{该边不是渡线} \\ 1 & \text{该边是撇渡线} \\ 2 & \text{该边是捺渡线} \end{cases}$$

a_i 表示边 e_i 是否被其他进路所占用, 规定:

$$a_i = \begin{cases} 0 & \text{该线路未被占用} \\ 1 & \text{该线路被占用} \end{cases}$$

2.2 进路搜索数学模型建立

2.2.1 目标函数

良好的车站作业进路主要表现各项作业的

进路总走行时间最少^[7], 具体体现在进路上就是进路的长度最短。因为在车站作业过程中, 如果进路很长, 对车站纵向的切割更严重, 减少平行进路的数量, 导致影响其他作业的进行。因此本文以进路最短为目标函数。用 P 来表示网络中从点 v_o 到点 v_d 的一条路, 用 $W(P)$ 来表示该路的长度, P^* 为点 v_o 到点 v_d 的最短路, 则满足:

$$W(P^*) = \min \{W(P)\}$$

P 为网络点 v_o 到点 v_d 的路。

为此, 车站进路搜索的目标函数可以描述为:

$$\min W(P^*) = \sum_{i=1}^n d_i$$

2.2.2 约束条件

在进路的搜索模型中, 应该满足以下几个约束条件。

(1) 进路占用约束条件

在进路的搜索过程中, 选择出来的某一条进路 P , 需要满足在该进路中的每条线路 e_i 都必须是空闲的, 即线路没有被占用:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 0$$

(2) 进路连续约束条件

在进路的搜索过程中, 需要保证起点与中间节点的连续, 直到搜索到目标点为止, 通过顶点之间的坐标进行约束:

$$(x_o, y_o) = (x_{i1}, y_{i1})$$

$$(x_{i2}, y_{i2}) = (x_{j1}, y_{j1})$$

$$(x_{n2}, y_{n2}) = (x_d, y_d)$$

(3) 进路迂回限制条件

在进路的搜索过程中, 需要避免进路产生“八字”迂回搜索(在站场图中有撇渡线“/”和捺渡线“\”两种形式), 即规定在进路中只允许出现一种形式的渡线, 其中 j 为进路 P 中渡线的数量:

$$\sum_{i=1}^n w_i = j \quad \text{or} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 2j$$

特别说明：在进路搜索过程中加入进路迂回限制条件，如果无法搜索到起点到终点的进路，可以把迂回进路限制条件删除后进行搜索，得到的即是起点到终点的变更进路。

2.2.3 进路搜索模型

综上分析，车站进路的搜索可以归纳为以下的数学规划模型：

$$\min W(P^*) = \sum_{i=1}^n d_i \quad d_i \in e_i$$

3 进路搜索算法设计

针对最短路及进路搜索算法常用 Dijkstra 算法^[8]、分支定界法^[9]、遗传算法^[10]、深度优先搜索^[3,11]和广度优先搜索等，在本文中为了避免搜索进入死循环，减少搜索的次数，采用 Dijkstra 算法和深度优先搜索相结合的方法。

3.1 Dijkstra 算法

进路搜索过程中借鉴运筹学最短路算法 (Dijkstra 算法) 的标号思想，在进路搜索之前只对起点进行标号 $(v_0, 0)$ ，其他点不标号。进路搜索到一个顶点时，对该顶点进行标号 $(v_j, l(v_j))$ ， v_i 表示在最短进路中 v_j 的前一个顶点， $l(v_j)$ 表示从 v_i 到 v_j 最短路的长度，直到搜索到目标点 v_d 为止，即可得到进路的信息。

3.2 深度优先搜索算法

对有向图的遍历一般有两种方法：即深度优先搜索 DFS (Depth First Search) 和广度优先搜索 BFS (Breadth First Search) 遍历。DFS 遍历类似于树的先根遍历，是树的先根遍历的推广，沿着某一条进路一直搜索下去，直到所有边都搜索完截止。BFS 遍历类似于树的按层次遍历的过程，从起点开始对接下来的每一层进行搜索，一层搜索完后转向下一层继续搜索。两种遍历方式的搜索

效率与所采用的存储结构直接相关，且时间复杂度相当，区别仅在于对节点的访问顺序不同。

考虑到铁路站场结构及车站进路特点，为避免出现迂回进路，本文采用深度优先搜索。即在进路搜索中遇到对向道岔时，约定优先搜索道岔后的弯股。

3.3 基于 Dijkstra 和深度优先的搜索算法

3.3.1 确定起始点和目标点坐标

根据进路的起点和终点信号机位置，确定起始点和目标点的坐标 (x_0, y_0) 、 (x_d, y_d) 。

3.3.2 宽度原则

首先比较起点和终点的横坐标大小 x_0 、 x_d ，确定在横向的搜索方向：

(1) 如果 $x_0 < x_d$ ，则按照后续顶点横坐标比前一顶点大的方向进行搜索，即 $x_{后} > x_{前}$ ；

(2) 如果 $x_0 > x_d$ ，则按照后续顶点横坐标比前一顶点小的方向进行搜索，即 $x_{后} < x_{前}$ 。

3.3.3 高度原则

比较起点和终点纵坐标的大小 y_0 、 y_d ，确定在进路搜索过程中遇到对向道岔时，在纵向上所选择的搜索方向：

(1) 如果 $y_0 < y_d$ ，按照后续顶点纵坐标不小于前一顶点的方向进行搜索，即 $y_{后} \geq y_{前}$ ；

(2) 如果 $y_0 > y_d$ ，按照后续顶点纵坐标不大于前一顶点的方向进行搜索，即 $y_{后} \leq y_{前}$ ；

(3) 如果 $y_0 = y_d$ ，按照后续顶点纵坐标等于前一顶点的方向进行搜索，即 $y_{后} = y_{前}$ 。

3.3.4 弯股优先原则

起点和终点纵坐标不相同 ($y_0 \neq y_d$)，当搜索到对向道岔时，有两个方向可供选择，由于起终点不在同一水平线上，必然会在某一对向道岔处弯股搜索，本文中约定在此种情况下优先进行弯股搜索。

3.3.5 搜索终止条件

(1) 当通过弯股优先原则搜索到与目标顶点

同一水平时, 即 $y_k = y_d$, 即使后面再遇到对向道岔都进行直股搜索, 以减少搜索次数和避免“八字”迂回搜索。此时按照高度原则中的第3点进行搜索, 直到搜索到目标顶点, 该条搜索分支终止。

(2) 在搜索过程中遇到边被其他进路占用, 此时该条搜索分支终止, 回到上一对向道岔的另一方向进行搜索。

(3) 在本文中是通过弯股优先进行搜索的, 因此在通过弯股搜索到目标顶点后, 还需要回到上一对向道岔的直股进行搜索, 当沿着该直股搜索过程中遇到有对向道岔, 则优先沿着弯股方向进行搜索, 否则继续向前搜索。直到搜索到顶点的横坐标不小于目标横坐标或者搜索得到的顶点纵坐标小于起点纵坐标, 即 $x_k \geq x_d$ 、 $y_k < y_o$ 时, 该分支搜索终止。

3.4 举例分析

以图2的站场网络图为例: 当排列一条 X_F 到3G的接车进路时, 根据始端按钮 X_F 和终端按钮 S_3 的坐标信息, 首先判断始终端坐标的大小, 可以得到 $x_o < x_d$, $y_o < y_d$ 。根据搜索算法宽度原则第一点和高度原则第一点的要求进行搜索, 依次搜索到顶点7、 D_9 和15, 根据顶点的属性可以判断出顶点15的 $g_i = 2$, 即为对向道岔点。根据弯股优先的原则首先向弯股进行搜索到点17、 D_{13} 、 D_{15} 和19, 在点19判断出为对向道岔, 首先沿着弯股搜索到点21, 由于该点与终点 S_3 的横坐标相同, 即处于同一水平线上。按照终止搜索条件的第一条搜索得到目标点, 即该条进路信息 P_1 为: $X_F \rightarrow 7 \rightarrow D_9 \rightarrow 15 \rightarrow 17 \rightarrow D_{13} \rightarrow D_{15} \rightarrow 19 \rightarrow 21 \rightarrow D_{23} \rightarrow 33 \rightarrow 37 \rightarrow S_3$, 具体见图3。

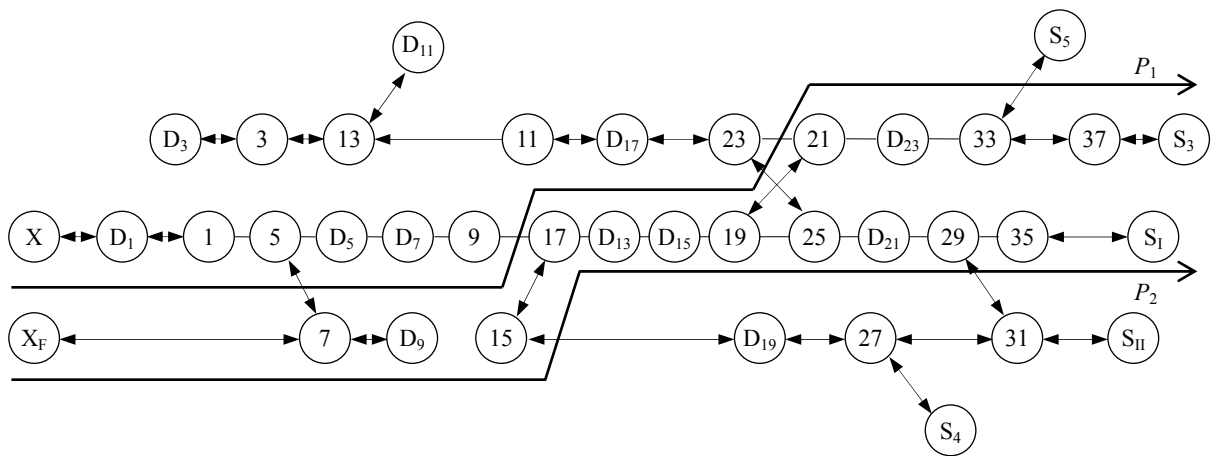


图3 x_F 到3G的接车进路图

Fig.3 Arrival routes from x_F to 3G

由于在搜索进路 P_1 的过程中遇到有对向道岔的顶点15和19, 根据终止搜索条件的第三条回到对向道岔的另一方向进行搜索。首先回到点19进行直股搜索依次搜索到顶点25、 D_{21} 、29和35, 此时点35又是对向道岔的顶点, 因此沿着弯股进行搜索得到点37和目标点 S_3 , 可以得到该条进路信息 P_2 为: $X_F \rightarrow 7 \rightarrow D_9 \rightarrow 15 \rightarrow 17 \rightarrow$

$D_{13} \rightarrow D_{15} \rightarrow 19 \rightarrow 25 \rightarrow D_{21} \rightarrow 29 \rightarrow 35 \rightarrow 37 \rightarrow S_3$ 。回到上一对向道岔点35进行直股搜索得到点 S_1 , 该点之后为到发线, 沿着该点继续搜索下去搜索到的顶点横坐标大于目标横坐标, 即 $x_k > x_d$, 因此根据搜索终止条件第三点, 该搜索分支终止; 再回到最初的对向道岔点15, 沿着直股进行搜索一直到对向道岔点27, 首先沿着

该点的弯股搜索得到点 S_4 ，由于该点的纵坐标小于起点 X_F 的纵坐标，该进路搜索终止；再沿着点27直股搜索下去搜索到的顶点横坐标大于目标横坐标，即 $x_k > x_d$ ，搜索进路分支终止。至此，由 X_F 到3G的接车进路全部搜索且得到两条长度相同的进路 P_1 和 P_2 ，如图3所示。当同时出现几条相同长度的进路时，可以预先设置其中一条为基本进路，比如可以设置 P_2 为 X_F 到3G的基本接车进路，当基本进路被占用时可以选择变更进路 P_1 。

4 结束语

本文通过对站场结构进行分析，把铁路车站站场图转化为一个有向图，建立了以最短路为目标函数的进路搜索数学模型。通过对深度优先搜索算法进行改进，提出了基于Dijkstra和深度优先的搜索算法，对该搜索算法进行了研究设计，可以避免搜索进入死循环，减少搜索的深度，对进路的搜索具有一定的研究意义。

参考文献

- [1] 陈志颖,董昱,杨柳,等. 计算机联锁进路搜索算法的分析与研究[J]. 铁道通信信号, 2007, 43(4):4-6.
- [2] 肖蒙,宁海安,赵志荣. 基于有向图的进路搜索算法研究与设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2012, (6):69-73.
- [3] 耿杰,蔡伯根,王剑,等. 基于深度优先搜索的铁路站场遍历算法研究[J]. 铁道学报, 2012, 34(4):51-56.
- [4] 谢林,杨扬. 基于二维坐标信息进路搜索算法研究[J]. 铁路计算机应用, 2015, 24(8):16-19.
- [5] 占自才,徐雪松. 进路搜索的数据结构与算法及其仿真[J]. 铁道运输与经济, 2005, 27(9):73-78.
- [6] 张文泉,余立建. 一种基于遗传算法的进路搜索算法[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(9):9-14.
- [7] 龙建成,高自友,马建军,等. 铁路车站进路选择优化模型及求解算法的研究[J]. 铁道学报, 2007, 29(5):7-14.
- [8] 寇玮华. 运筹学[M]. 成都:西南交通大学出版社,2013.
- [9] 吴鹏,寇玮华. 基于分支定界法的客运站到发线运用优化研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2016, 14(4):100-104.
- [10] 刘倩茜,高宁波. 基于信息熵与遗传算法的公共交通线路选择模型[J]. 交通运输工程与信息学报,2016,14(1):87-94.
- [11] 何胜学,范炳全. 动态交通路网中有效路径的确定方法[J]. 交通运输工程与信息学报, 2006, 4(1):11-23.

(中文编辑:刘娉婷)

上接第10页

- [25] 赵永波,郭森. 中欧班列对亚欧国家贸易潜力影响研究[J]. 人文杂志,2017(3):29-36.
- [26] 王杨堃. 关于新时期中欧班列战略功能定位的思考[J]. 大陆桥视野,2017(9):47-48.
- [27] 薛伟贤,顾善. 西部高新区产业选择研究——基于“一带一路”建设背景[J]. 中国软科学,2016(9):73-87.
- [28] 贺丹,李文超. 港口城市中欧班列可持续发展机制与对策——基于“甬新欧”班列的个案研究[J]. 中国流通经济,2016,30(10):105-111.
- [29] 肖洋. 中欧陆海快线与“一带一路”物流网的巴尔干支点[J]. 现代国际关系,2015(8):36-41,50.
- [30] 吴旗韬,张虹鸥,陈凤桂. 轴辐网络模型及其在交通地理学中的应用[J]. 地理科学进展,2010,29(6):701-708.
- [31] 丁伟,张亮,李健. 轴-辐式现代物流网络构建及实证分析[J]. 中国软科学,2010(8):161-168.
- [32] 郭丽敏,周廷刚,苏迎春. 基于加权Voronoi图的城市腹地界定方法研究——以成渝经济圈为例[J]. 地球信息科学,2014,16(3):411-417.
- [33] 张立芳,王亮,赵荣,等. 基于改进场模型的城市腹地划分方法——以山东省为例[J]. 测绘科学,2016,41(2):62-66.
- [34] 姜贞宇. 中欧班列运输协调委员会在北京成立[EB/OL]. [2017-05-26] <http://www.chinanews.com/cj/2017/05-26/8235162.Shtml>.
- [35] 邵玉华,王沂栋. 云南省面向东南亚铁路现代物流中心规划研究[J]. 交通运输工程与信息学报,2016,14(4):41-47.

(中文编辑:李愈)