

# Design of Station Map Model of Urban Rail Transit

Yujin Du<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup>Department of Automation, Southwest Jiaotong University, Pidu, Chengdu, Sichuan, China

<sup>a</sup>du\_yjin@163.com

## ABSTRACT

The station map model is the basis of the ATS simulation system, and the establishment of the model is related to the computing efficiency of the whole system. By analyzing and comparing the search strategies of the undirected graph and the directed graph at vertices, this paper proposes a directed graph model based on a cross-linked list. This model abstracts the topological structure of station map by directed graph, with switches, insulation joints and crossover center as vertices and track as arcs. The weight rules of arcs are formulated in the model, and the search scheme at the vertex is provided, this model can effectively simplify the process of calculating the direction of the train at the bifurcation of the line. At the same time, the method of storing the directed graph by cross-linked list not only meets the requirements of bidirectional operation of urban rail transit, but also reduces storage space and improves search efficiency compared with other storage methods. Finally, this paper analyzes the line equipment data according to the functional requirements of the ATS system, as a result, the same equipment is abstracted into class, and by establishing the mapping relationship between the device and vertices or edges of the directed graph, the device can be managed and controlled by the station map model.

**Keywords:** Station map, directed graph, cross-linked list, urban rail transit, topology

## 城市轨道交通站场图模型设计

杜钰金<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup>西南交通大学自动化系, 郫都, 成都, 四川, 中国

<sup>a</sup>du\_yjin@163.com

## 摘要

站场图模型是ATS (Automatic Train Supervision) 仿真系统的基础, 模型的建立关系着整个系统的计算效率。通过分析对比无向图和有向图在顶点处的搜索策略, 本文提出了一种基于十字链表的有向图模型。该模型以道岔、绝缘节和渡线中心为顶点, 以轨道为弧, 用有向图抽象站场图拓扑结构。模型中制定了弧的权重规则, 提供了顶点处的搜索决策方案, 该模型能够有效简化在线路分叉处列车方向的计算流程。同时, 采用十字链表存储有向图不仅满足了城市轨道交通线路双向运行的需求, 相比其他存储方式还减小了存储空间和提高了搜索效率。最后, 根据ATS系统的功能需求, 分析线路设备数据, 将同种设备抽象成类, 通过建立与有向图顶点或边的映射关系, 实现了通过站场图模型管理控制设备。

**关键词:** 站场图, 有向图, 十字链表, 城市轨道交通, 拓扑结构

## 1. 前言

城市轨道交通客流不断增加, 对于轨道交通安全要求也越来越高<sup>[1]</sup>。线路在正式投入运营之前需要经过全面的功能测试和安全测试<sup>[2]</sup>, 常用的测试方法有两种: 现场测试和仿真测试。现场测试需要多方人员协作, 且试错成本高, 若施工过程出现失误, 后期

改造需要花费大量资金和人力。仿真测试能有效模拟实际情况且成本低, 已成为城市轨道交通中最常使用的测试手段。

站场图是站场结构、设备的可视化表现<sup>[3]</sup>, 是轨道交通列车运行仿真的基础。将站场图中的线路、设备以合理的数据结构组织起来, 这个过程就是站场图模型建立的过程。站场图模型是ATS仿真系统的基础,

ATS 的数据管理、功能模拟都以站场图模型为前提。站场图模型可分为无向图模型和有向图模型，无向图模型用无向图描述站场线路结构，传统研究方法中，多采用无向图模型。无向图可以完整描述站场线路拓扑结构，通过无向图可以访问任何一个顶点和任何一条边，若顶点同时与多个其他顶点相连，则需要遍历其他顶点来确认进路路径和列车运行方向。若采用有向图模型，可以根据顶点的出弧、入弧提前排除一部分顶点数据，这样不仅减小了计算复杂度，能够更快确认线路方向，而且从某种意义上讲，缩短了列车跨越道岔的时间，提高了道岔利用率。

## 2. 模型设计

站场图通常用图来描述，图分为有向图和无向图。若图任意两个顶点之间的边都是无向边，则称为无向图；若图任意两个顶点之间的边都是有向边，则称为有向图。无向图和有向图描述的站场拓扑结构在顶点处都需要结合设备状态通过遍历弧和邻接顶点的方式来确定线路方向，但由于有向图带有方向标识，根据列车来时方向，判定在顶点处应该访问出弧还是入弧，提前淘汰一部分数据，实现快速确认线路方向。

用图描述线路拓扑结构，需要选取合适的端点或设备点，同时也要考虑 ATS 的功能需求。郑州地铁 1 号线部分信号平面布置图如图 1，可观察到线路上有信号机、道岔、轨道等设备，一般将具有特定功能的设备点<sup>[4]</sup>作为图的顶点。本文以道岔中心、渡线中心、绝缘节为顶点，以轨道为边，将站场线路抽象为图。此设计能完整、清晰描述站场图拓扑结构，不会覆盖任何信号设备，也便于控制、搜索进路。以轨道区段为边，便于定位列车。设备作为图数据的一部分，能够通过图直接访问设备数据。

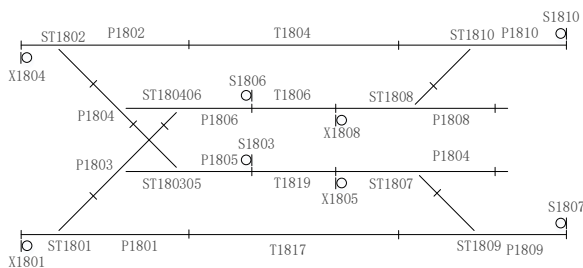


图 1 信号平面布置图

绝缘节作为顶点，只与两条弧相交，从一条弧驶入必从另一条弧驶出，运行方向唯一确定。道岔中心作为顶点，与三条弧相交，从一条弧驶入，可能有一条或两条出路：驶入顺向道岔<sup>[5]</sup>，驶出方向唯一确定，只能是基本轨方向；驶入对向道岔，驶出方向可能为定位方向或反位方向，此时需要结合设备状态进一步判断。渡线交点作为顶点，与四条弧相交，从一条弧驶入，驶出方向有三种可能。但实际情况是，驶出方向唯一确定，考虑菱形交叉的特殊性：经过菱形交叉运行方向不改变，此时必须设计其他算法保证仿真运行与实际运行情况一致。

单动道岔、三开道岔、交叉渡线用无向图模型可定义为如图 2 所示，N 表示顶点，e 表示边，箭头代表列车运行方向。图中单动道岔和三开道岔对于列车而言都是顺向道岔，从无向图的某条边驶入顺向道岔时，如列车从 e2 驶入单动道岔，要判断 e1 和 e3 来确定线路方向；从 e2 驶入三开道岔，要判断 e1、e3、e4 来确定线路方向；从 e4 驶向交叉渡线菱形交叉需要通过 e3、e5、e6 确定方向。

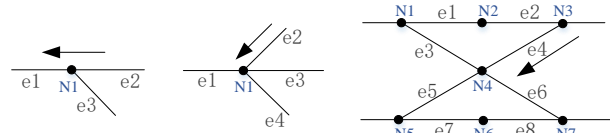


图 2 道岔无向图模型

若采用有向图模型描述上述道岔，如图 3 所示，若列车从 e2 驶入单动道岔，根据顶点出弧直接确定线路方向为 e1；从 e2 驶入三开道岔，确定唯一方向 e1；从 e4 驶向交叉渡线菱形交叉确定出弧 e3、e5，但在实际运行中，只能从 e5 驶出。

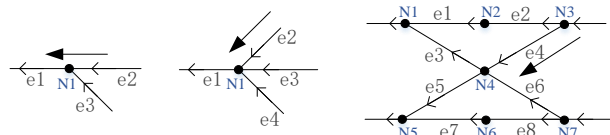


图 3 道岔有向图模型

这里添加一个描述边权重的属性，菱形交叉处边的权重定义规则如下：四个单动道岔的反位边权重都小于定位边；单动道岔岔前边、定位边权重相同；渡线中心处于一条路径的边权重相同，但与另一条路径的边权重不同。假设定义岔前边、定位边的权重为 1，路径 1 的边权重为 0.8，路径 2 的边权重为 0.5，那么图 3 中，e1、e2、e7、e8 这 4 条边的权重为 1；e3 和 e6 权重为 0.8，为路径 1；e4、e5 权重为 0.5，为路径 2。从 e4 驶向交叉渡线菱形交叉，根据出弧筛选出 e3、e5，根据路径的权重相同确定唯一出弧 e5。

若列车不是顺着有向图边的方向行驶，而从 e1 驶入三开道岔，这种情况有向图模型与无向图模型处理一样，需要结合设备状态遍历弧和邻接顶点来确定线路方向。此时用权重来描述道岔的边，定义定位边权重为 1，反位边权重为 0.5，根据道岔的定位反位状态，只搜索权重为 1 或 0.5 的边，从而快速判定线路方向。如三开道岔为定位，可以直接确定方向 e3；若为反位，只需要搜索 e2 和 e4，再根据进路信息确定线路方向。

通过建立有向图模型，增加两个控制策略：按弧的方向搜索和按权重搜索，既解决了渡线中心两出弧的问题，又解决了驶入对向道岔的多出弧问题，减小了计算复杂度，使得线路方向的计算更加高效。

### 3. 模型数据结构

将图 1 所示信号平面布置图抽象为有向图，默认边的方向为公里标增大的方向，建立的有向图如图 4，其中 C、X、J 表示顶点，分别为道岔中心、渡线中心和绝缘节，e 表示边，箭头代表边的方向。城市轨道交通中，线路需要满足双向运行，若列车要从 e19 运行至 e8，按照边的默认方向无法从顶点 C3 直接访问 e8，只能通过遍历有向图的方式从顶点 X1 访问 e8。若改变有向图边的默认方向，又无法从 e8 通过 C3 直接访问 e19，所以通过改变边方向无法解决这一问题，但可以通过改变有向图的存储方式解决。

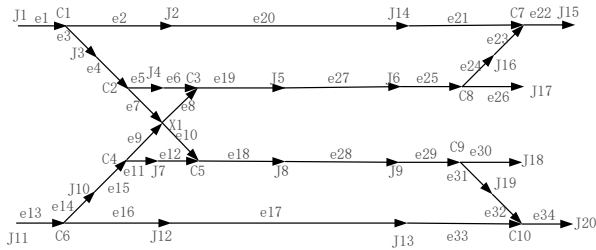


图 4 站场线路有向图

若使用邻接矩阵的方式，则要建立两个矩阵，一个矩阵存储有向图，另一个矩阵存储反转边方向之后的有向图，暂且称为反向有向图。若列车上行时访问有向图，则列车下行时访问反向有向图，如此一来便能实现双向搜索。但邻接矩阵只能存储顶点间的连通数据<sup>[6]</sup>，无法保存除连通数据外的边的其他信息，且站场图是一个边稀疏的图形结构<sup>[7]</sup>，使用邻接矩阵则需要构建一个庞大的二维数组，数组中却只存储了少量的弧信息。

若用邻接表存储有向图，可以通过设计节点结构存储多余的边信息，但邻接表表示的有向图，根据有向图边的默认方向，同样只能按上下行方向之一搜索。再添加一个逆邻接表来描述有向图，若邻接表搜索方向是上行方向，那么逆邻接表的搜索方向就是下行方向，能够实现双向搜索。用邻接表和逆邻接表存储图 4 的有向图，假设列车从 e2 运行到 e20，又从 e20 运行至 e2，前一过程访问的是邻接表，后一过程访问的

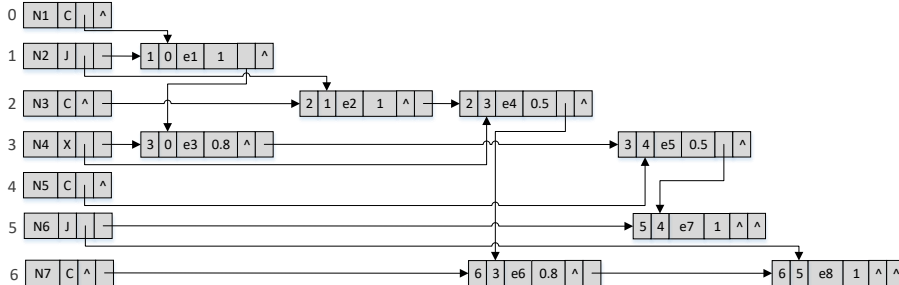


图 6 十字链表示意图

### 4. 模型需求分析

十字链表表示的有向图中只包含站场图拓扑结构和部分设备间的逻辑信息，不包含设备的物理信息。

是逆邻接表，此过程中需要切换访问对象。

相较于同时使用邻接表和逆邻接表，更多情况下是使用十字链表，通过十字链表可以在顶点处同时访问出弧和入弧，列车上下行各按出弧或入弧搜索即可。十字链表是邻接表和逆邻接表的结合，十字链表实质上是为每个顶点建立两个链表，分别存储以该顶点为弧头的所有顶点和以该顶点为弧尾的所有顶点。十字链表相较于邻接表，在首元节点中增加了一个指针域，用于连接以当前顶点为弧头的其他顶点构成的链表；在邻接节点中增加了一个数据域和一个指针域，分别用于存储以首节点为弧头的顶点位于数组中的位置下标和连接下一个存储着以首节点为弧头的顶点的节点。十字链表中首元节点和邻接节点的结构如图 5。

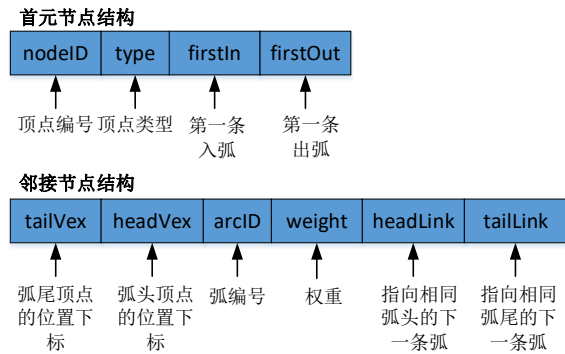


图 5 节点结构示意图

其中，首元节点包含顶点编号、顶点类型、指向第一条入弧的指针和指向第一条出弧的指针。邻接节点包含弧尾顶点的位置下标、弧头顶点的位置下标、弧编号、弧权重、指向相同弧头的下一条弧的指针和指向相同弧尾的下一条弧的指针。图 3 交叉渡线的十字链表示意图如图 6 所示。

根据有向图顶点类型快速决策线路方向的方案为：绝缘节顶点的出弧方向为线路方向；道岔若为定位，道岔顶点方向为大权重边的方向，反之为小权重边的方向；渡线中心的方向为与入弧权重相同的出弧的方向。

若将设备物理数据保存在有向图中，势必造成有向图体量过大。若将同种设备抽象成类，每个设备看作是一个对象，建立有向图顶点和边与设备的映射关系，这样不但可以通过对象访问设备物理数据，而且还能

通过有向图访问设备逻辑关系。

与有向图拓扑数据直接相关的设备有轨道、道岔、绝缘节，轨道对应有向图的边，道岔、绝缘节对应有向图的顶点，边与轨道的映射规则为：边对应相同编号的轨道；顶点与道岔、绝缘节的映射规则为：顶点对应相同编号的道岔或绝缘节。

通过 ATS 仿真系统的功能需求可知，ATS 在控制进路主要考虑轨道、道岔、信号机，轨道、道岔分别与边、顶点直接关联。信号机一般设置在绝缘节处，将信号机数据保存在绝缘节中，通过绝缘节即可访问信号机数据。值得注意的是：不是所有绝缘节处都设有信号机；绝缘节处可能同时设置上行和下行信号机。因此，绝缘节中应包含上行下行两架信号机数据，若绝缘节处未设信号机，则将信号机数据置空。从不同的弧到达绝缘节，根据来时方向判断列车需要按照哪架信号机的指示行车。不同信号设备对象的数据如图 7。

轨道	道岔	绝缘节
编号	编号	编号
名称	名称	上行信号机名称
长度	转向状态	下行信号机名称
区段状态	区段状态	上行信号机灯位
		下行信号机灯位

图 7 设备数据

轨道、道岔的编号可以实现有向图逻辑数据和设备物理数据的映射，设备名称是进路信息的重要组成部分<sup>[8]</sup>。轨道的状态、长度信息分别用来指示列车占用的区段和计算列车在轨道上的具体位置<sup>[9]</sup>；道岔的转向状态反应道岔的定位反位，区段状态反映道岔的占用情况。

在 ATS 仿真系统中若要管理某个信号机，流程如图 8。从有向图的任意顶点出发，根据顶点类型判断顶点是否为绝缘节。若不是绝缘节，继续搜索下一个顶点，若顶点是绝缘节，在绝缘节中查找目标信号机。若找到目标信号机，改变信号机的状态，流程结束；若未找到，继续搜索下一个顶点，直至找到目标信号机或有向图遍历完毕。

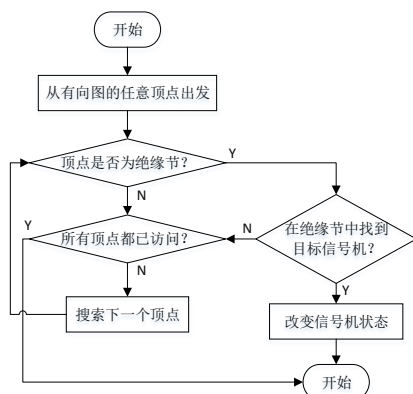


图 8 信号机控制流程图

## 5. 结论

为了提高轨道分叉处线路方向的计算效率和道岔利用率，本文提出了一种基于有向图和十字链表的站场图模型。通过有向图弧的方向和权重能够唯一确定简单分叉点的线路方向和简化复杂分叉点的搜索流程，使列车能够快速确定运行方向和通过道岔。利用十字链表存储有向图数据既满足了城市轨道交通双向运行的需求，又解决了其他存储方式在同一顶点只能搜索出弧而无法逆向搜索入弧的问题。最后，根据模型需求设计了设备数据结构，通过映射规则建立物理数据与逻辑数据的关联，达到了通过模型对设备进行控制的效果。本模型对 ATS 仿真系统站场图结构的设计具有重大参考意义，设计人员可根据不同道岔类型设计不同权重方案，从而达到快速判断线路方向的目的。

## REFERENCES

- [1] Zhao, X. Tang, T. Yan, F. (2009) A functional safety analysis approach for analyzing CBTC system. In: International conference on measuring technology and mechatronics automation. Zhangjiajie. Vol. 3. pp. 737-741.
- [2] Rao K., Chen B., Xu Z., Mei M. (2013) Design and implementation of station graph of CBTC line simulation. Urban Mass Transit, 16(1):38-42.
- [3] Zhu Y., Xu Z., Wan Y., (2018) Visual generation for railway line data of CBTC simulation test system. Railway Computer Application, 27(4):54-58.
- [4] Du Y. (2017) Railway station yard model and the model data structure. Control Engineering of China. 24(10):1975-1980.
- [5] Guo J., Wei Y., Liu L., (2008) Railway Signal Infrastructure. SWJTU Publishing, Chengdu.
- [6] Xu J. (2019) Graph Theory and Its Applications. USTC Publishing, Hefei.
- [7] Jia J. Cui J. (2021) Design method of station/yard diagram model based on diagram and adjacency list. Railway Signalling & Communication Engineering. 18(11):13-18.
- [8] Yang Y. (2012) Station Signal Control System. SWJTU Publishing, Chengdu.
- [9] Ates, E. Ustoglu, I. (2018) An approach for moving block signalling system and safe distance calculation. In: 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT). Istanbul. pp. 1-4.