

# 基于非规范化信号平面图自动生成联锁表的路径搜索算法研究与实现

于成奇

天津航智控科技有限公司 天津市 300300

DOI:10.32629/ems.v8i5.20204

**[摘要]** 为常规基于图元的自动生成联锁表的方法, 尤其面对非规范化的信号平面图的痛点, 本文提出一种面向 DXF 格式非规范化信号平面图、可自动生成联锁表的路径搜索算法, 聚焦非规范化图纸带来的设备识别难、拓扑关系构建难、进路搜索难等问题, 重点开展设备与线路的几何精准匹配、转辙机方向关联智能识别、基于深度优先搜索的进路全路径搜索等关键技术研究。

**[关键词]** 信号平面图; 联锁表; 转辙机链接; 深度优先搜索; 几何匹配; 拓扑建模

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

在传统铁路信号设计流程中, 联锁表编制完全依赖人工完成。设计人员需要逐张翻阅信号平面图, 手动识别信号机、转辙机、线路的位置与关联, 梳理每条进路的走向与约束条件, 再逐条填写联锁表内容。

随着铁路数字化、智能化建设的推进, 计算机辅助设计 (CAD) 在铁路信号领域全面普及, DXF 格式作为 CAD 软件通用的图形交换格式, 成为信号平面图的主流存储形式。如何基于 DXF 格式电子图纸, 通过算法自动提取设备信息、构建线路拓扑、搜索合法进路、生成标准联锁表, 成为铁路信号设计自动化的核心研究方向。本文针对非规范化信号平面图的通用性适配问题, 研发自动生成联锁表的路径搜索算法, 突破人工编制的瓶颈, 实现联锁表生成的自动化与智能化, 对提升铁路信号设计效率、保障设计数据准确性、推动铁路信号工程数字化转型具有重要的工程应用价值与理论研究意义。

### 1.2 研究内容与技术路线

本文的技术路线为: 首先通过 DXF 解析模块提取信号平面图所有图元信息; 其次通过设备 - 线路匹配模块完成信号机、转辙机与线路的几何匹配, 识别道岔直向与侧向分支; 再次通过线路连接模块识别线段端点相接、T 型连接等关系, 构建完整的线路拓扑图; 最后通过进路搜索模块以信号机为始端开展深度优先搜索, 生成合法进路并输出联锁表。

## 2 系统总体框架

本文设计的自动生成联锁表系统, 整体分为 DXF 解析模块、设备 - 线路匹配模块、线路连接模块、进路搜索模块四

大核心模块, 各模块分工明确、协同工作, 形成从图纸解析到联锁表输出的完整闭环。

### 2.1 模块功能划分

1. DXF 解析模块: 作为系统的数据输入基础, 负责读取 DXF 格式信号平面图文件, 遍历模型空间内的所有图元实体, 按图元类型分类提取坐标、图层、句柄、属性块等核心信息, 为后续几何计算与拓扑构建提供原始数据。该模块需适配不同版本 DXF 文件, 确保非规范化图纸的图元信息完整提取。

2. 设备 - 线路匹配模块: 核心处理模块之一, 针对非规范化图纸的设备偏移问题, 计算信号机、转辙机到各线路线段的几何偏差, 通过阈值筛选完成设备与线路的精准匹配; 同时基于转辙机朝向、定位方向属性, 结合匹配线段的几何特征, 识别道岔直向与侧向分支, 构建包含道岔分支的基本线路网络。

3. 线路连接模块: 负责梳理线路之间的物理连接关系, 通过端点接近检测识别线段首尾相接关系, 通过端点 - 线段接近检测识别 T 型连接、交叉连接等复杂关系, 将基本线路网络与道岔分支融合, 构建完整的线段连接拓扑图。

4. 进路搜索模块: 系统的核心输出模块, 以信号机为始端, 遵循信号机朝向与进路方向一致性规则, 沿线段连接拓扑图开展深度优先搜索, 遍历所有合法进路, 记录沿途道岔的定位 / 反位状态, 最终按照联锁表编制标准输出完整的联锁表数据。

### 2.2 系统工作流程

系统启动后, 首先加载 DXF 信号平面图, 由 DXF 解析模块完成图元解析与数据整理; 随后设备 - 线路匹配模块对解析后的设备与线路数据进行几何匹配, 完成道岔分支识别

并生成基本线路网络;接着线路连接模块对基本线路网络进行连接关系检测,构建无歧义的线段连接图;最后进路搜索模块基于拓扑图开展进路搜索,完成数据校验后输出标准解锁表。

### 3 关键技术模块

#### 3.1 DXF 解析概述

DXF 解析模块的核心处理流程为:首先加载 DXF 文件并初始化解析器,遍历模型空间内的所有图元实体,按实体类型分类处理——对于线路、轨道等线性图元,提取顶点坐标、图层、长度等信息;对于信号机、转辙机等设备块,提取块插入点坐标、属性值、朝向等信息;对于绝缘节、轨道区段等辅助图元,提取位置与关联信息。解析完成后,将所有图元数据按“设备类、线路类、辅助类”分类存储,形成结构化数据集,为后续模块提供标准化输入。

针对非规范化图纸的特点,DXF 解析模块增加了容错处理机制:对缺失属性的设备块,通过几何特征补充识别;对图层命名不规范的图元,通过图元类型与位置自动归类;对重叠、重复的图元,通过坐标比对进行去重处理,确保解析数据的完整性与准确性。

#### 3.2 设备与基本线路匹配

设备与线路的几何匹配是后续拓扑构建与进路搜索的基础,其核心目标是将信号机、转辙机等设备精准定位到其所属的线路图元上,解决非规范化图纸中设备与线路偏移、错位的问题。

##### 3.2.1 点到线段距离与偏差计算

在铁路信号平面图中,信号机、转辙机等设备均安装在线路两侧,其几何中心与线路线段存在固定的垂直偏差,水平方向偏差极小。传统的点到直线最短距离计算无法区分水平与垂直偏差,适配非规范化图纸效果较差。因此本文采用分维度偏差计算方法,分别计算设备点到线路线段的 X 轴偏差与 Y 轴偏差,通过双阈值判定完成匹配。

设设备点坐标为  $P(x, y)$ , 线路线段上的投影点坐标为  $Q(x, y)$ , 则 X 轴偏差  $dx$  与 Y 轴偏差  $dy$  的计算公式为:

$$dx = |x_p - Q_x|, dy = |y_p - Q_y|$$

设定水平偏差阈值  $\text{threshold}_x$  与垂直偏差阈值  $dy \leq \text{threshold}_y$ , 仅当设备点的  $dx \leq \text{threshold}_x$  且  $dy \leq \text{threshold}_y$  时,判定该设备与该线路线段匹配。阈值可根据图纸的绘制精度灵活调整,可有效适配非规范化图纸的设备偏移问题。

##### 3.2.2 转辙机方向关联模型

转辙机是控制道岔转换的核心设备,道岔具有岔尖、定位直向、反位侧向三个关键节点,转辙机安装于岔尖位置,其朝向与定位方向直接决定道岔直向、侧向的走向。转辙机方向关联模型的核心目标是基于转辙机属性与几何特征,自动识别道岔的直向与侧向分支,构建道岔的标准化连接关系。

##### 3.2.2.1 匹配线段筛选

转辙机控制道岔的岔尖与两个分支线段,因此需为每个转辙机筛选两条匹配线段。首先计算转辙机到所有线路线段的 X、Y 偏差,选取偏差值最小的两条线段作为候选匹配线段;由于转辙机安装在岔尖位置,其坐标更接近岔尖线段,因此将偏差更小的线段标记为岔尖线段(位置 1),偏差稍大的线段标记为分支线段;若两条线段偏差值接近,则通过线段走向与转辙机朝向的几何关系进一步判定,确保岔尖线段识别准确。

##### 3.2.2.2 直向/侧向的几何判断

道岔直向与侧向的判断是转辙机方向关联的核心,本文基于转辙机朝向与定位方向两个核心属性,结合坐标变化规律制定标准化判断规则,形成道岔方向规则表(表 1)。

表 1 道岔方向规则

朝向	定位方向	直向方向	侧向方向
左	左开	左	下
左	右开	左	上
右	左开	右	上
右	右开	右	下

实际识别过程中,通过对分支线段相对于岔尖线段的坐标变化(Y 轴增大 / 减小、X 轴增大 / 减小),匹配规则表中的方向定义,即可精准判定分支线段为直向或侧向。该规则无需依赖图纸规范化程度,仅通过属性与几何计算即可完成判断,适配性极强。

##### 3.2.2.3 方向关联模型构建

完成道岔直向、侧向识别后,为每个转辙机构建标准化方向关联模型,记录道岔各节点之间的连接关系。

该模型将道岔的复杂连接关系抽象为标准化的有向连接,为后续拓扑图构建与进路搜索提供统一的数据接口。

#### 3.2.3 基本线路网络构建

完成所有转辙机与线路的匹配后,将被匹配的线路线段整合为基本线路网络。以线段共享端点为依据,将首尾相接的线段合并为连通分量,每个连通分量视为一条独立的基本线路,记录其包含的所有线段 ID、端点坐标、长度、关联设

备等信息。

### 3.3 线段连接关系构建

车站线路除了通过道岔连接外,还存在普通线段端点相接、T型连接、交叉连接等多种形式,线段连接模块的核心目标是识别这些连接关系,将基本线路网络融合为完整的线段连接图,为进路搜索提供拓扑基础。

#### 3.3.1 端点接近检测

对于每条线段,提取其起点和终点。比较任意两个端点(属于不同线段且图层相同),若X坐标差 $|x_1 - x_2| \leq \text{threshold}_x$ 且Y坐标差 $|y_1 - y_2| \leq \text{threshold}_y$ ,则认为两个端点重合,取中点作为连接点,记录 endpoint 类型连接。

#### 3.3.2 端点 - 线段接近检测 (T型连接)

对于每条线段的每个子段(相邻顶点构成的直线段),计算其他线段的端点到此子段的最短距离(使用点到线段距离公式)。若距离 $\leq \text{nearby\_threshold}$ (例如1.5),则认为端点连接到该子段上(非端点处),记录 endpoint\_to\_segment 类型连接。这种连接对应于线路交叉或分支点。

### 3.4 进路搜索算法

进路搜索是自动生成联锁表的核心环节,其目标是以信号机为始端,沿线路拓扑图搜索所有合法进路,记录进路的始端、终端、道岔状态等信息,最终生成符合标准的联锁表。本文采用深度优先搜索(DFS)算法实现进路全路径搜索,结合铁路信号联锁表编制规则优化搜索逻辑,确保进路的合法性与准确性。

#### 3.4.1 深度优先搜索算法建模

深度优先搜索算法是一种递归式的图遍历算法,适合拓扑图的全路径搜索,可遍历所有无环路径,适配铁路车站线路拓扑的特点。本文将线段连接图抽象为有向图节点,每个节点对应基本线路单元,节点间的连接关系对应道岔分支、常规线路连接。搜索过程中,以始端信号机为起点,沿信号机朝向方向进入拓扑图,递归遍历所有可达节点,遇到同向终端信号机时停止搜索,记录完整进路信息。

#### 3.4.2 关键处理细节

为确保进路搜索符合铁路信号业务规则,算法增加三大关键处理细节:

1. 方向一致性约束:搜索方向由始端信号机的朝向唯一确定,全程保持方向不变,禁止反向搜索,确保生成的进路与实际行车方向一致;

2. 道岔状态记录:搜索过程中经过道岔分支时,自动记录道岔ID与当前状态(定位/反位),同步写入进路信息,确保联锁表道岔约束准确;

3. 循环规避处理:通过线段集合标记已搜索路径,防止无限递归;对于环形线路拓扑,采用“线段+方向”的复合节点标记,避免重复搜索,提升算法效率。

## 4 结论与展望

### 4.1 研究结论

本文针对传统联锁表人工编制效率低、易出错、非规范化图纸适配性差等问题,提出一套基于DXF非规范化信号平面图自动生成联锁表的路径搜索算法,构建了包含DXF解析、设备-线路匹配、线路连接、进路搜索的完整系统框架。通过分维度几何偏差计算实现设备与线路的精准匹配,基于转辙机属性与几何特征构建道岔方向关联模型,采用深度优先搜索算法完成合法进路的全路径搜索。该算法可适配非规范化图纸,准确生成联锁表核心数据,提升铁路信号设计的自动化水平,降低人工工作量与设计风险,具有重要的工程应用价值。

### [参考文献]

- [1]陈灏捷,杨扬.联锁表自动生成软件的设计与实现[J].铁路计算机应用,2021,30(4):70-75.
- [2]金云,黄凯腾,钟朱婷,等.一种基于堆栈遍历的联锁表自动生成算法[J].铁路通信信号工程技术,2020,17(1):84-87,110.
- [3]唐劲旅,魏宗寿,徐登科.一种自动生成联锁表的实现方法[J].铁道通信信号,2007,43(10):11-13.
- [4]吴非凡.基于AutoCAD的联锁表自动生成软件的研究[D].成都:西南交通大学,2021.
- [5]姚维文,杨扬.基于自定义实体的联锁表自动生成软件设计与实现[J].铁路计算机应用,2023,32(9):65-71.
- [6]于春花.城市轨道交通联锁表自动生成软件的开发与实现[J].铁路计算机应用,2016,25(12):65-68.
- [7]于磊,骆正新.地铁正线联锁表自动生成软件的研究与设计[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(9):95-100.
- [8]彭丽维.基于图元模型的联锁表自动生成软件实现[D].成都:西南交通大学,2019.

作者简介:于成奇,1989年5月,男,汉族,本科,天津,中级职称,地铁信号。