

Research on Simulation Algorithm of Receiving Route in Marshalling Station

Zhengang Song

China Railway Construction Rail Operation Co., Ltd., Beijing, 100038, China

Abstract

Using artificial intelligence to study the operation of marshalling station is an important application of digital economy in railway transportation. According to the typical station layout of the arrival yard of the marshalling station and the practice of on-site operation, this paper establishes the directed network diagram of the yard. According to the network diagram, the set of route arrangement is established, the mathematical model of analyzing reasonable route is established by using the principle of maximum parallel route, and the algorithm of seeking the optimal route with operable array is provided.

Keywords

arrival field; directed network diagram; maximum parallel route

编组站接车进路模拟算法研究

宋振刚

中铁建轨道运营有限公司, 中国·北京 100038

摘要

运用人工智能的方法研究编组站运营工作,是数字化经济在铁路运输的重要应用。根据编组站到达场典型车站布置图和现场作业实际,建立了车场有向网络图。根据网络图建立了进路排列的集合,运用最大平行进路原则,建立分析合理进路的数学模型,并提供了可运算数组的寻求最优进路的算法。

关键词

到达场;有向网络图;最大平行进路

1 引言

铁路编组站是铁路解体、编组列车的主要场所,设备集中,作业复杂程度高。对于编组站建设初期,运用作业仿真的方法,可以分析编组站建设的规模和可行性,为编组站设计提供依据^[1]。对于运营中的编组站,运用作业仿真的方法,可以分析车站的作业能力,避免了耗工耗时的现场写实方法。论文研究了作业仿真过程中,到达场接车进路排列的数学方法,并提供了算法分析,解决了编组站作业仿真的核心问题。同时,对于正在推行的编组站作业进路自动排列的人工智能算法,提供了一种思路。

2 编组站驼峰解体作业分析

大型编组站一般采用双向三级六场布置形式,可以将双向车流合理解体、编组,满足铁路货物中转的需要^[2]。论文研究这种典型布置的到达场研究驼峰解体作业的进路

排列,图1是到达场线路布置示意图。进站线1和2是接入到达列车的进站线路,到达场有12条线路,1道是通过线,接入无改编中转列车到出发车场;2~12道是到发线,接入到达解体列车;尽头线1和2供调车机车(下简称调机)返岔子使用。

驼峰解体列车主要有到达作业、列检作业、车辆复检等作业,如图1所示,到达解体的列车由进站线接入到达场;然后,列检人员对停放在2~12道待解体车列进行技检作业;技检作业完毕,调车人员对待解体车列进行排风、摘管、检查车辆走行状况等作业。解体过程中,调机解体完上一车列,进入尽头线进行折返,然后,进入待解体车列的股道,进行下一车列解体作业。

根据到达场示意图,建立坐标体系,在6道和7道之间设X轴,平分到发线处设Y轴。这样,车场被分为4个象限,便于量化分析作业过程,建立进路排列的算法模型。

3 模型建立及算法研究

3.1 接车咽喉区进路网络模型

编组站到达场线路和信号如图2布置,进站信号机内方设交叉渡线,根据到达车流将其均匀接入到达场到发线。

【作者简介】宋振刚(1987-),男,中国河北唐山人,本科,工程师,从事高速铁路、普速铁路、城市轨道交通行车组织、运营组织管理研究。

道岔和信号标识如图中所示，进站信号机与某条到发线组成接车进路，进路包含途经的道岔。进站信号机到某条到发线的接车进路可以途经不同道岔，形成不同的进路，称为平行进路。但是，作业中排定的进路具有唯一性，即实际运行的进路只能有一条。

为了研究方便，可以将到达场道岔布置图抽象成有向网络图，到达场接车作业是由进站信号机至到发线的单向进路，所以，到达场的有向网络图如图3所示。有向图中， $S = [s_1, s_2, \dots, s_a]$ 表示接车进路端，进入进站列车和推峰调机； $T = [t_1, t_2, \dots, t_\beta]$ 表示到达场线路集，

$V = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ 表示到达场咽喉端的道岔集，这样，到达场可以构成有向网络 $N=(U,A)$ ，点集 $U= S \cup T \cup V$, A 表示节点之间的弧线集合。

利用数学方法研究进路时，需要确定列车或调车进路和有向网络路径是一一对应关系，即一条进路对应一个网络有向径路。对于交叉渡线，会有不同节点集合表示同一进路的情况，如 $R(s_3, t_7) = (s_3, v_2, v_6, v_{11}, v_{16}, v_{21}, t_7)$ 和 $R'(s_3, t_7) = (s_3, v_2, v_6, v_{11}, v_{16}, v_{22}, v_{21}, t_7)$ 表示同一条进路。计算进路时，只要去掉这个点，就可以确定有向径路表示唯一的进路。 v_{22} 是现场交叉渡线的交叉点，有向图中类似的还有 v_{12} ，也做同样处理。

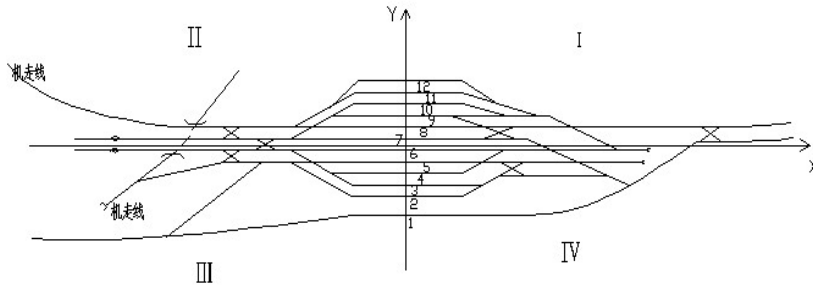


图1 到达场示意图

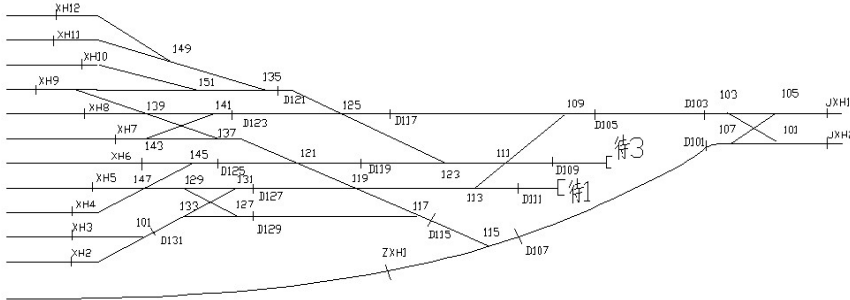


图2 到达场道岔布置图

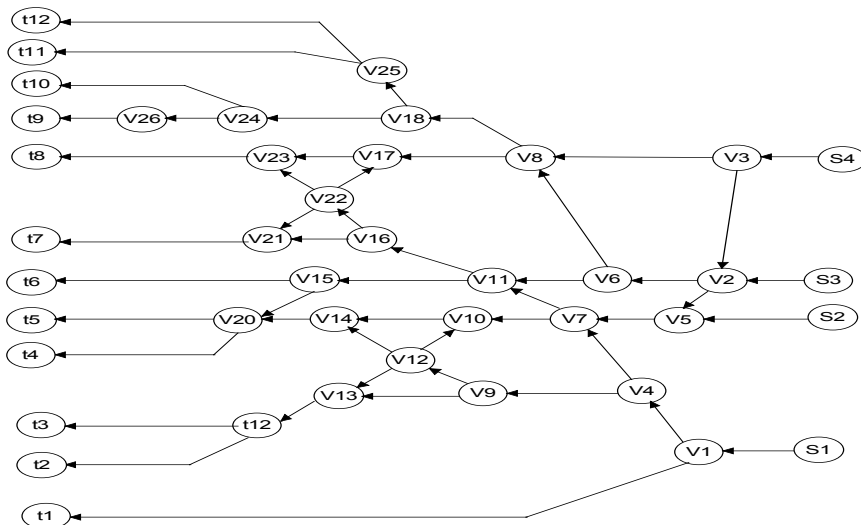


图3 到达场有向网络图

3.2 到发线的使用

现场作业中，到发线使用一般按照“车场线路内接，外侧推峰”的原则进行运用。这样的好处一是离行车室线路最大概率保持空闲，有利于行车人员作业；二是调车人员从驼峰返场后，在线路中部下车，去其他线路作业走行距离短，最小概率翻越车辆，有利于人身安全。从图1可以看出，对于现场常用的两台调机推峰作业，一般应用中间线路6、7道作为调机折返线路，调机解体车列原则上按照2道至5道、12道至8道的顺序。接车的顺序，按照先接入中间线路，后接入两侧线路的原则，如图4所示。

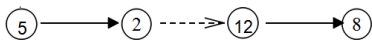


图4 到达场接入列车次序

3.3 到达场进路优化模型及算法

在到达场进路排列中，按照“先接内、再接外，先推外、再推内”的原则进行进路排列，车站值班员根据原则，可以选出合理路径，排列出需要的进路。但是，对于计算机模拟现场作业，必须给出合理的数学模型，可行的算法，否则，计算机无法进行自行判断^[3]。对于进路选择，如果按照每个节点逐一搜索，判断合理进路，那么随着节点推移，搜索量会呈几何级数增长，很难得出结果^[4]。同时，影响整体模拟作业的进行。

3.3.1 模型建立

根据上一节有向网络图的分析，根据有向点集，可以确定接车进路。在计算机仿真时，根据股道接车进路，分析进路集合，从中选择最合理的进路，就可以解决这个问题。

在现场作业中，到达场调车进路和接车进路有冲突时，优先进行调车作业^[5]。调机利用接车的间隔，进行推峰的人线作业，因此，可以根据最大平行进路的选择判断接车最优进路。按照这个方法，可以建立如(1)的数学模型。

目标函数：

$$MaxW_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m h(P_k(s(i),t(j))) \quad (1)$$

$$s.t. \sum_S P(s,u) = \sum_t P(u,t) \quad (2)$$

$$\sum_S P(s,u) \ll 1 \quad (3)$$

$$\sum_t P(u,t) \ll 1 \quad (4)$$

$$\sum_t P(s,t) \quad (5)$$

$$P(s,t) = (0,1) \quad (6)$$

式中， $(s,u), (u,t) \in A; u \in V - S - T; s \in S; t \in T; (s,t) \in A; h(P_k(s(i),t(j)))$ ——某条 $s(i)$ 至 $t(j)$ 进路的最大可用平行进路数， $k=1,2, \dots, 1$;

$s(i)$ ——接车端咽喉区进路端点，包括正线、机待线；

$t(j)$ ——到发线；

i ——接车端咽喉区进路端点的数目；

j ——联络线和到发线数目。

(3)表示流的平衡关系，(4)和(5)表示进路是不相交的，(6)表示流为单位流。

论文讨论的接车情况，可以按照负指数分布模拟到达列车流^[6]。在现场作业中，调机返场入线时，与接车进路冲突时，在尽端式线路等待。在实现到达场接车能力模拟时，可以根据需要，设定等待条件，可以得出不同的接车列数。从而，分析不同接车情况下，编组站的到达解体编组情况。

3.3.2 算法分析

对于建立的进路模型，在进行计算机仿真运算时，需要可执行的算法，才能模拟出实际作业场景，得出需要的仿真结果^[7]。所以，对于编组站到达场，可以根据调车和接发列车作业进路排列，将布置图抽象为有向网络图，采用数学分析的方法，寻求最优进路。

根据图3的有向网络图，进站信号机 S_1 和 S_3 、供调机折返的尽头式线路和可以排列不同的进路。4道接入到达解体列车时，可以有如下进路：

$$P_1(s_1, t_4) = (s_1, v_1, v_4, v_7, v_{10}, v_{14}, v_{20}, t_4)$$

$$P_2(s_1, t_4) = (s_1, v_1, v_4, v_9, v_{14}, v_{20}, t_4)$$

$$P_3(s_1, t_4) = (s_1, v_1, v_4, v_7, v_{11}, v_{15}, v_{20}, t_4)$$

作业中，最终选择的进路是剩余平行进路最多的接车进路。 P_1 接车进路选定后，第IV象限(见图1)可以排列的进路数量为0，设定进站接车进路选定后，可以

排列的概率为 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h(s(i),t(j)) = a$ ； P_2 接车进路排列以后，由进站信号机 S_1 到第IV象限还可以排列的进路

$P(s_2, t_6) = (s_2, v_5, v_7, v_{11}, v_{15}, t_6)$ ，其他进路可以排列的概率为 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h(s(i),t(j)) = 2a$ ； P_3 接车进路排列以后，由进站信号机 S_1 到第IV象限没有可以排列的

进路，进路数量的概率也为 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h(s(i),t(j)) = a$ 。因此，进站信号机 S_1 接入4道的最优进路是

$$P_2(s_1, t_4) = (s_1, v_1, v_4, v_9, v_{14}, v_{20}, t_4)。$$

在进路选择仿真过程中，可以运用数组的形式，判断到达场最优接车进路。假设进路排列以后，存在平行进路记为1，不存在平行进路记为0；对于第I象限，进路排列不受影响，则上述进站信号机 S_1 至4道 t_4 进路可以用矩阵表示如图5所示。

0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1

图5 接车进路矩阵判断图

同理,对于进站信号机至各条到发线的接车进路,均可以使用矩阵分析进路排列后的剩余平行进路数量。在仿真过程中,根据数组运算,能够选择合理的咽喉进路。对于现场作业中,人脑判断过程,可以采用数学分析的方法得出结论。

4 结语

论文对某典型编组站到达场示意图进行分析,根据到达场接车作业实际,运用有向网络图进行量化处理,将进路排列问题转化为可描述的数学问题。对于仿真过程中进路排列,给出了解的数学模型,并提供了算法分析。解决了到达场接车作业仿真的核心问题,对于人工智能方法研究铁路车站作业提出了可借鉴的方法。

参考文献

- [1] 刘思琦.基于铁路车流改编链的编组站布局优化研究[D].北京:北京交通大学,2019.
- [2] 彭奇渊,王慈光.铁路行车组织[M].北京:中国铁道出版社,2015.
- [3] 陈建.基于5G+北斗的智慧编组站研究与应用[J].中国铁路,2021(10):85-92.
- [4] 张岩.铁路编组站阶段计划动态调整方法研究[J].铁道运输与经济,2022(1):22-29.
- [5] 黄霖坤.株洲北车站能力优化研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2020.
- [6] 肖磊.基于车流数据的编组站运营仿真研究[D].兰州:兰州交通大学,2021.
- [7] 娄正良.编组站作业优化研究[J].中国铁路,2020(9):62-68.