

基于实例的客运站股道运用实时决策推理方法^{*}

王新宇, 陈治亚, 张英贵, 雷定猷

(中南大学 交通运输工程学院, 长沙 410075)

摘 要: 客运站股道运用实时决策问题是一个半结构化问题, 实时决策推理研究为解决特殊情况下铁路客运站实时决策问题提供理论基础, 具有十分重要的现实意义。采用物元理论, 构建基于实例的实时决策推理物元模型, 将实时决策物元分为列车物元、方案物元和推理物元, 结合车站调度员解决特殊情况下股道运用实时决策的思维过程, 采用优度评价法和基于双空间模型的归纳学习法, 设计基于实例的实时决策推理算法和自学规则算法, 提出铁路客运站股道运用实时决策推理方法, 用于制订特殊情况下的实时决策方案。实例分析结果表明, 所提出的模型与算法能有效解决特殊情况下客运站股道运用实时决策问题, 提高了股道运用实时决策的智能化水平。

关键词: 铁路客运站; 股道运用; 实时决策; 物元理论; 双空间模型

中图分类号: U293.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)04-1270-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.019

Method of case-based real-time decision deduction of track utilization in railway passenger stations

WANG Xin-yu, CHEN Zhi-ya, ZHANG Ying-gui, LEI Ding-you

(School of Traffic & Transport Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: Real-time decision problem of track utilization in railway passenger stations is a type semi-structural problem and its deduction can provide theoretical basis for solving real-time decision problem with special conditions, which has very important practical meaning. Adopting matter element theory, this paper constructed case-based real-time decision model and divided real-time decision matter element into train matter element, plan and deduction ones. Then, it combined with the thinking process of dispatchers for solving real-time decision problem with special conditions, adopted superiority evaluation method and learning method based on double-space model, designed case-based real-time decision deduction algorithm and rule-self learning algorithm, and put forward methods of case-based real-time decision deduction of track utilization, to make real-time decision plans with special conditions. The instance results indicate that the model and algorithms can solve the real-time decision problem with special conditions effectively and the intelligence level of real-time decision of track utilization can also improve greatly.

Key words: railway passenger station; track utilization; real-time decision; matter element theory; double-space model

铁路客运站股道运用实时决策问题涉及众多因素, 是一个半结构化问题, 多数决策参数不能以结构化的方式进行描述。客流高峰期间, 列车的频繁晚点和大面积晚点, 尤其是客运站突发安全事故、设备临时故障及自然灾害等特殊情况下, 股道运用实时决策问题将势必变得更加复杂与非结构化。因此, 铁路客运站股道运用实时决策推理研究为有效解决特殊情况下客运站股道运用实时决策问题及系统研发提供理论基础, 同时为车站调度员制订和调整特殊情况下铁路客运站股道运用计划提供决策参考。

国内外学者对铁路客运站股道运用问题作了大量的基础研究。Zwaneveld 等人^[1,2]通过深入分析铁路车站进路编排问题, 明确了股道运用问题是一个 NP-Hard 问题; Craey 等人^[3,4]以最小化运营成本为目标, 研究了繁忙、大型车站的股道和站台安排问题; 张英贵等人^[5-8]采用现代排序和约束规划方法研究了我国铁路客运站到发线运用优化问题。总的来说, 既有研究一般均是围绕股道运用的结构化因素(如股道、进路、列车、

时间表等)进行的, 对非结构化因素(如人为因素、实时信息等)考虑较少, 尤其是特殊情况下铁路客运站股道运用实时决策问题方面的研究甚少。基于此, 本文综合考虑股道运用的结构化与非结构化因素, 模拟车站值班员的思维过程, 采用物元理论, 提出铁路客运站股道运用实时决策推理方法, 解决特殊情况下股道运用实时决策问题, 提高客运站股道运用实时决策的智能化水平。

1 问题描述与分析

客流高峰期间列车的频繁晚点, 尤其是客运站突发安全事故、设备临时故障及自然灾害等特殊情况下, 在结合车站应急预案的基础上, 车站调度员一般会遵循规章并结合过去的经验确定具体车次所占用的进路、调机、站台与股道等股道运用计划的具体内容, 解决特殊情况下客运站股道运用实时决策问题。经调查发现, 车站值班员有时甚至会突破规章, 仅凭个人经验就完全能够有效解决特殊情况下客运站股道运用实时决

收稿日期: 2011-09-20; 修回日期: 2011-10-27 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70971140)

作者简介: 王新宇(1978-), 男, 吉林通化人, 博士研究生, 主要研究方向为交通运输运营管理及优化(cs_u_michael@126.com); 陈治亚(1958-), 男, 湖南岳阳人, 教授, 博导, 主要研究方向为交通运输技术经济、运输企业系统资源优化等; 张英贵(1984-), 男, 安徽六安人, 博士研究生, 主要研究方向为交通运输运营管理及优化; 雷定猷(1958-), 男, 湖南浏阳人, 教授, 博导, 主要研究方向为特种货物运输、交通运输运营管理及优化等。

策问题。对于该问题的核心所在即具体车次的安排问题,车站值班员常常会联想到车次以往是否遇到此种情况;若没有,则联想其所属种类的列车,甚至会联想到其他种类的车次是否遇到类似情况,它们是如何处理和安排的。车站值班员的这种思维过程即为实例推理,其关键在于运用过去的实例和经验解决新的问题。因此,基于实例的股道运用实时决策推理方法的核心是从既有实例库中选择与当前车次实时决策特征属性最为相似的实例信息,并按某种规则对部分特征属性修改而得到最终的实时决策方案。

基于实例的客运站股道运用实时决策推理是一种较直接的求解问题的方式,越过了实时决策自身所依赖问题知识求解而进行规则化这一间接层次,从以规则或知识为中心的求解方法转移到从实例到实例的问题求解。在股道运用实例推理过程中,会使用到一些领域的知识和规则,但不是以规则或知识为中心,规则或知识的引入往往是为了进一步提高特殊情况下股道运用实时决策优化问题求解的效率。由于实例本身包含了大量的知识,直接利用实例进行推理可以降低获取知识的工作量,基于实例的推理过程在一定程度上解决了知识获取的瓶颈问题^[9],且要确保实例的形式规范保持一致。采用物元理论,综合考虑其结构化与非结构化因素,模拟车站值班员解决特殊情况下股道运用实时决策的思维过程,通过构造基于实例的实时决策推理物元模型,研究基于实例的股道运用实时决策推理过程,提出铁路客运站股道运用实时决策推理方法。

2 基于实例的实时决策推理模型

为准确刻画实时决策实例的基本信息和特性(如标志、各种特征及其量值等),综合考虑股道运用优化问题的结构化与非结构化因素,便于模拟车站值班员解决特殊情况下股道运用实时决策的思维过程,结合多层次物元模型,构建基于实例的实时决策推理物元模型(简称实时决策推理物元),制订特殊情况下客运站股道运用实时决策方案。基于实例的客运站股道运用实时决策推理物元模型如下:

$$\begin{bmatrix} \text{Rps_Rtd}, & \text{Id}, & \mu_0 \\ & \text{Tn}, & \mu_1 \\ & \text{Ar}, & \mu_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:Id表示股道运用实时决策实例的唯一性标志,是计算机存储、管理和检索实例的索引项;Tn、Ar分别表示实时决策实例的客运站旅客列车和实时决策方案的特征; μ_0 、 μ_1 、 μ_2 表示与特征对应的特征量值,取值既可以是具体的数值或文字,也可以是数值区间或范围、集合,甚至是子物元的形式。本质上来讲,特征Tn、Ar就是列车及其实时决策方案(含各种决策参数)。为优化实时决策的知识库结构及提高性能,现将基于实例的实时决策推理物元模型即实时决策物元分成列车物元、方案物元和推理物元三个子部分,分别用于描述列车事物、实时决策方案事物及两者之间的关联。

2.1 列车物元

客运站旅客列车具有各种属性、特征,如车次、种类(以字母与数字开头的高速G、直达Z、特快T、动车组D、城际C、快速K、普通旅客列车)、作业性质(始发、终到、通过、与经停四大类)、始发站、终到站、权重、有限度、到达时间、离开时间、各种作业的起止时间(如接发车占用进路、列车或车底占用股道、

调机起止时间等)及股道固定使用方案等。其中,股道固定使用方案又包括股道的特征信息(股道编号、停靠站台等)。将它们表示为统一的基于多层次的列车物元(子物元)的形式,如图1所示。

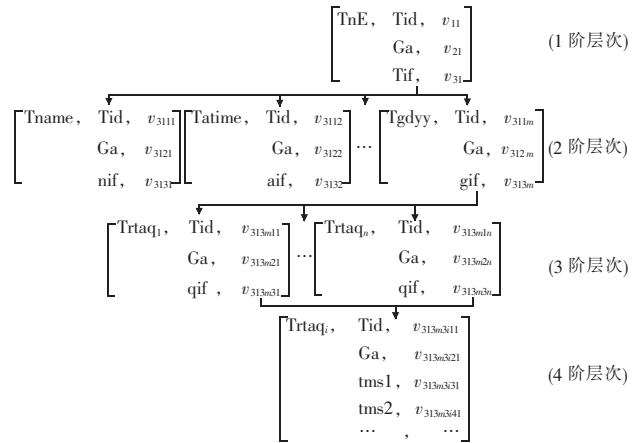


图1 列车物元示意

图1中,在列车物元的1层次中,Tid、Ga、Tif分别表示此列车物元的标志、层及特征属性,对应属性取值依次为 v_{11} 、 v_{21} 、 v_{31} ;Tif包括车次Tname、到达时间Ttime、离开时间Tptime与股道固定使用方案Tgdyy等特征,因此,Tif的属性值 v_{31} 以2层次 m 个子物元的形式展开表示;2层次中的股道固定使用方案Tgdyy包含若干条具体的股道及其信息,属性值 v_{31m} 以3层次 n 个子物元Trtaqi的形式表示,而具体股道的信息则以4层次子物元Trtaqi的形式表示。

2.2 方案物元

方案物元ArE是对铁路客运站股道运用具体车次的实时决策方案的描述,其结构形式与列车物元TnE相似,但两者所包含的特征信息不同。方案物元ArE包括具体车次停靠股道、站台、实际到开时间、实际接(发)车作业时间、接发车占用进路、晚点时间等信息。对于始发和终到旅客列车而言,方案物元ArE还包括办理旅客列车车底出入客技站的取送作业时间、调机、客技站停靠线路、整备作业时间、取送作业进路等信息。其中,股道、进路、调机应以子物元的形式进行描述。

2.3 推理物元

推理物元PE用于描述铁路客运站股道运用实时决策推理过程中所涉及的规则和专家知识,其结构形式与列车物元TnE、方案物元ArE都是相似的,但它们所包含的特征信息各不相同。为便于规则与专家知识的描述和推理,以状态集和规则集的形式联合表达诸多与股道运用实时决策有关的各类规则及知识。

铁路客运站股道运用实时决策状态集中的各种状态Condition(含实时决策目标与原则、列车物元属性、方案物元属性、人为因素、含设备临时故障和列车晚点在内的各种客观环境等诸多结构化与非结构化因素所处的各种自然或特殊状态)以三元组的形式表达,即

$$\text{Condition}(\text{ID}, \text{Object}, \text{Value}) \quad (2)$$

其中:ID、Object分别表示股道运用状态的唯一性标志、状态主体及其属性,且状态主体Object由其属性Value进行确定。

股道运用实时决策规则集中的具体规则KnowRules采用物元的形式进行描述,即推理物元PE:

$$\begin{bmatrix} \text{KnowRules}, & \text{KRulesId}, & p_1 \\ & \text{Conditions}, & p_2 \\ & \text{Relations}, & p_3 \\ & \text{Actions}, & p_4 \end{bmatrix}$$

其中:KRulesId 表示推理物元 PE 的唯一性标志;Conditions 表示由此推理物元 PE 所包含的各种状态构成的实时决策状态集,以子物元的形式作进一步详细描述;Relations 表示状态集 Conditions 中各种状态之间的逻辑运算关系,其取值 p_3 与状态集的取值 p_2 相对应;Actions 则表示实时决策状态集 Conditions 的逻辑运算结果,即规则的结论 p_4 。

例如,规则“当前方线路(上行方向)因故暂时中断,正线通过旅客列车应临时停靠本站”,将其表示为推理物元 PE 的形式,则为

Condition(10010011,“设备故障”,“前方线路暂时中断”)
Condition(50010002,“运行方向”,“列车开往上行方向”)
Condition(80040102,“作业性质”,“正线通过旅客列车”)

$$\begin{bmatrix} \text{KnowRules}, & \text{KRulesId}, & 4001 \\ & \text{Conditions}, & [10010011, 50010002, 80040102] \\ & \text{Relations}, & [\text{AND}] \\ & \text{Actions}, & \text{停靠本站} \end{bmatrix}$$

推理物元中的知识获取一般有两条途径:a)源自《车站行车工作细则》等技术规章与车站值班员的经验,经归纳整理形成知识库中的各类知识;b)源于系统的自我学习,从实践中学习进而获得新的规则与知识。同时,为避免铁路客运站股道运用实时决策推理过程中找不到合适的参照实例对象,必须尽可能扩充与丰富推理物元中所包含的规则,构造全新的股道运用实时决策实例。

3 基于实例的实时决策推理算法

特殊情况下铁路客运站股道运用实时调整过程中,列车物元和方案物元中关于列车到达、离开车站时间及相关作业时间在很大程度上会根据具体情况而随机发生改变(如一旦列车发生晚点,则列车实际到达、离开车站时间便会偏移既定列车运行图;为确保列车正点运行,因车站现场实时因素,其他作业时间亦会发生随机改变),但诸多时间因素的波动具有上下限约束。即股道运用实时决策推理物元中的部分特征参数(如时间参数)存在一个合理范围的衡量条件,部分特征参数是固定值(如列车始发站、终到站、有限度等),其物元即为复合物元。结合复合物元的特征,提出实时决策 K 算法,评价待解实例与实例集中各实例之间的相似程度,在此基础上设计基于实例的实时决策推理算法,制订铁路客运站股道运用实时决策方案,并提出基于实例的自学规则算法,用于提高客运站股道运用实时决策的智能化水平。

3.1 实时决策 K 算法

3.1.1 物元相似性与优度

设优度 K_{ij} 表示两个列车物元 TnE_i 和 TnE_j 的相似度,用于衡量两个列车物元 TnE_i 和 TnE_j 对应属性或特征之间的相似程度,即相似度用 $\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'})$ 表示,则 $\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'}) \in [0, 1]$, $\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'}) \geq 0$ (非负性)、 $\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij}) = 1$ (自反性)、 $\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'}) = \text{sim}(\text{TnE}_{ij'}, \text{TnE}_{ij})$ (对称性)。若 $\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'}) = 1 (\forall j)$ 表示两列车物元的各种属性完全一致,该列车物元对应的方案物元可以作为待解实例的解; $\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'}) = 0 (\forall j)$ 表示两列车物元完全不相关。

易知,列车物元各属性取值可能是一个具体的固定值,也可能是区间或集合(集合经适当转换为区间对待)。列车物元各属性之间的相似度 $\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'})$ 主要有三种情况:

a) 列车物元 TnE_i 、 $\text{TnE}_{i'}$ 的属性或特征 TnE_{ij} 、 $\text{TnE}_{ij'}$ 均为固定值。设 b 为列车物元 TnE_i 对应属性 TnE_{ij} 的检索值, a 为列车物元 $\text{TnE}_{i'}$ 对应属性 $\text{TnE}_{ij'}$ 的检索值,且 $a, b \in [\alpha, \beta]$, 则列车物元 TnE_i 、 $\text{TnE}_{i'}$ 的属性 TnE_{ij} 、 $\text{TnE}_{ij'}$ 之间的相似度按式(3)计算:

$$\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'}) = \text{sim}(a, b) = 1 - \frac{|b - a|}{|\beta - \alpha|} \quad (3)$$

b) 列车物元 TnE_i 、 $\text{TnE}_{i'}$ 的属性或特征 TnE_{ij} 、 $\text{TnE}_{ij'}$ 均为区间值。设 $[b_1, b_2]$ 为列车物元 TnE_i 对应属性 TnE_{ij} 的检索区间, $[a_1, a_2]$ 为列车物元 $\text{TnE}_{i'}$ 对应属性 $\text{TnE}_{ij'}$ 的检索区间。对于列车物元 TnE_i 的检索值 $b \in [b_1, b_2]$, 则列车物元 TnE_i 、 $\text{TnE}_{i'}$ 的属性或特征 TnE_{ij} 、 $\text{TnE}_{ij'}$ 之间的相似度按式(4)计算确定取值:

$$\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'}) = \text{sim}([a_1, a_2], [b_1, b_2]) = \begin{cases} 1 - \frac{|b - a_1|}{|b_2 - b_1|} & b < a_1 \\ 1 & a_1 \leq b \leq a_2 \\ 1 - \frac{|b - a_2|}{|b_2 - b_1|} & b > a_2 \end{cases} \quad (4)$$

c) 列车物元 TnE_i 、 $\text{TnE}_{i'}$ 的属性或特征 TnE_{ij} 、 $\text{TnE}_{ij'}$ 不全为固定或区间值。列车物元 TnE_i 、 $\text{TnE}_{i'}$ 的属性或特征 TnE_{ij} 、 $\text{TnE}_{ij'}$ 的相似度按式(5)计算确定取值:

$$\text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'}) = \text{sim}(b, [a_1, a_2]) = \begin{cases} 1 - \frac{|b - a_1|}{|\beta - \alpha|} & b < a_1 \\ 1 & a_1 \leq b \leq a_2 \\ 1 - \frac{|b - a_2|}{|\beta - \alpha|} & b > a_2 \end{cases} \quad (5)$$

考虑列车物元各属性或特征对方案物元的影响及相互之间的重要程度($\omega_{ij'}$, 由车站值班员根据在制订和调整股道运用计划时的个人经验、喜好等因素确定取值), 衡量列车物元之间相似程度即优度按式(6)计算:

$$K_{ij'} = \sum_j (\omega_{ij'} \text{sim}(\text{TnE}_{ij}, \text{TnE}_{ij'})) \quad (6)$$

3.1.2 实时决策 K 算法

基于实例的实时决策推理方法的核心是如何评价两列车物元之间的相似程度,即待解实例与相似实例之间的相似程度。综合考虑待解实例与相似实例各属性特征之间的相似程度即属性相似度^[10],在此基础上,结合复合物元(即物元属性不全为固定值或区间值)的特征,采用式(6)评价待解实例与相似实例之间的相似程度。铁路客运站股道运用实时决策 K 算法的主要步骤如下:

a) 接收参数。接收实时决策衡量条件、待解实例 e_{dj} 与实例集中某相似实例 e_i 的属性或特征 C_j 及其总数个数 n , 各属性或特征 C_j 的权重为 $u_j (0 < j \leq n, u_j \in [0, 1], \sum_{j=1}^n u_j = 1)$ 。

b) 构造复合物元。结合列车物元的特征、特征值或特征值范围,适当提取待解实例 e_{dj} 及与相似实例 e_i 的特征值 v_j 和 v_{ij} , 并构造复合物元(v_j 、 v_{ij} 可能是固定值,也可能是区间值):

$$\begin{bmatrix} C_1 & v_2 & v_{i1} \\ C_2 & v_2 & v_{i2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ C_n & v_n & v_{in} \end{bmatrix}$$

c) 计算属性相似度。若待解实例 e_{dj} 及与相似实例 e_i 的属性或特征 C_j 的特征值 v_j 、 v_{ij} 均为固定值,按式(3)计算其相似度;均为区间值,按式(4)计算其相似度;不全为固定值或区间

值,按式(5)计算其相似度。

d) 计算优度。待解实例 e_{dj} 关于实例集中的该相似实例 e_i 的优度 $K_i (K_i = \sum_{v_j} (\mu_{j, \text{sim}}(v_j, v_{ij})))$, 返回基于实例的实时决策推理算法, K 算法结束。

3.2 基于实例的实时决策推理算法

结合归纳法和知识引导法,设计基于实例的实时决策推理算法,对实例库进行多次检索,并评价待解实例与实例库中各实例之间的相似程度,得到相同实例或相似实例集合,构造待解实例的决策方案的实例空间,从中选取合适的实例即比照实例作为最终决策方案即方案物元,并结合推理物元中的各种规则和知识,对比实例相关属性或参数进行修正,进而得到待解实例的解。基于实例的实时决策推理算法步骤如下:

a) 初始化。输入列车时刻表、列车、股道、调机、联锁表等基本数据,实时决策背景环境及衡量条件等相关信息。

b) 构造待解实例。结合股道运用实时决策物元模型,构建一个待解实例 e_{dj} (即待安排的旅客列车或待定方案物元的列车物元),并提取其关键属性。

c) 一次检索和全匹配。综合考虑待解实例的关键属性,一次检索既有实例集中所有实时决策物元(既有实例)。若实例集中存在与待解实例 e_{dj} 相同的实例(两实例中的列车物元特征值及环境完全一致),以相同实例作为待解实例 e_{dj} 的比照实例,转 g); 否则转 d)。

d) 二次检索和相似匹配。综合考虑待解实例的关键属性、决策背景环境与衡量条件,构造待解实例邻域结构,调整待解实例 e_i 的关键属性取值,扩大实例检索范围,二次检索既有实例集中所有实时决策物元(既有实例)。递归循环调用实时决策 K 算法,计算待解实例 e_{dj} 与各相似实例 $e_i (\forall e_i \in R)$ 的优度 $K_i (0 < i \leq m)$ 。若实例集中不存在与待解实例 e_{dj} 相似的实例(优度 K_i 满足一固定阈值要求),则待解实例 e_{dj} 暂无可行方案,算法结束;否则,构造与待解实例 e_{dj} 相似的实例集 $R, R = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ (m 为相似实例集 R 中的相似实例总数)。

e) 相似实例优度排序。按优度由大到小的排序原则,对相似的实例集 R 中各相似实例 e_i 进行排序,得到待解实例解的实例空间,其结果为 $\{e_1, e_2, \dots, e_m\}, \forall e_i \in R, K_{e_1} \geq K_{e_2} \geq \dots \geq K_{e_m}$ 。

f) 比照实例。按相似实例空间 $\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 的先后顺序,若存在相似实例使得待解实例的各项特征参数均符合既有规章,则以优度最大的相似实例作为比照实例;否则在保证行车安全的前提下,选取与既有规章符合程度最大的相似实例作为比照实例。

g) 推理优化。结合推理物元 PE 中各类实时决策规则和知识,确定或调整比照实例的方案物元的相关属性或特征的具体取值。

h) 算法结束。以比照实例的决策方案作为待解实例 e_i 的实时决策方案,计算其他相关特征值,进一步完善待解实例 e_i 的列车物元 TnE、方案物元 ArE 各特征值,算法结束。

基于实例的实时决策推理算法主要用于制订具体列车的实时决策方案,对于客运站众多列车特殊情况下的股道运用实时决策问题,只需多次调用此算法即可。基于实例的实时决策推理算法中的步骤 d) 若出现“不存在相似实例”的情形下,可采用基于实例的自学规则算法丰富股道运用实时决策的实例集和规则集,提高系统性能,减少此类情形的出现,或调整节域

物元中特征值的取值范围(如调整待解实例中列车实际的终到作业时间上下限),使列车均有相应的方案可行。

3.3 基于实例的自学规则算法

结合机器学习中众多学习方法的特点^[11],采用基于双空间模型的归纳学习法,构造基于实例的自学规则算法,丰富实例集和规则集,提高铁路客运站股道运用实时决策的智能化水平,改进其系统性能。将全体可能的股道运用实时决策实例构成实例空间,全体可能的一般规则构成规则空间,自学任务即实现实例空间与规则空间之间的同时协调搜索。

基于双空间模型的归纳学习过程如下:根据规则空间所提供的一般规则,通过实验规划过程对实例空间进行搜索以完成实例选择,同时将选中的活跃实例提交给解释过程,经由解释过程将活跃实例转换成规则空间中的特定概念,引导对规则空间的搜索。规则空间与实例空间之间的关系最为理想的状态是以最少的规则覆盖全部正实例而不覆盖任何反实例。如果找不到这样的规则集,则退而求其次,即规则集能覆盖尽量多的正实例,覆盖尽量少的反实例,且规则集包含的规则数量要求尽量少^[9]。由于此类问题的算法具有指数复杂性,在实例空间较大的情况下,其学习效率较低。因此,结合基于双空间模型的归纳学习法,采用启发式优化方法构造基于实例的自学规则算法,实现其学习过程。具体步骤如下:

a) 从全部实时决策实例集中取出一组实例集 E , 由客运站股道运用决策背景知识中原所有规则及其结论构成规则集 S 、结论集 C 。

b) 从结论集 C 中取出一个未取过的规则结论 $c (c \in C)$ 。

c) 从实例集 E 中取出含结论 c 的实例,构成正实例集 PE , 而 E 中剩余的实例则构成反例集 NE , 即 $NE = E \setminus PE, PE \cup NE = E, PE \cap NE = \emptyset$ 。

d) 调用规则构造子过程,构造新规则 s , 使 s 尽可能多地覆盖正实例集 PE 中的正实例,排除反例集 NE 中的反实例,并从 PE 中除去新规则 s 所覆盖的正实例。规则构造子过程如下:

(a) 构造新规则 s , 使其结论为当前结论 c , 取当前规则 s 的前提集合为 M 。

(b) 将当前规则的前提集合中每个客运站股道运用决策背景的参数集合记为 P , 其中 $P_i \in [V_{i1}, V_{i2}]$, V_{i1}, V_{i2} 为阈值,根据相关规则及车站值班员的经验统计等确定取值;计算正实例集 PE 、反例集 NE 中出现 P_i 的实例数 PP_i 和 NP_i 。

(c) 如果存在 P_i , 使得 $PP_i \geq m_1, NP_i \leq m_2, m_1$ 和 m_2 为正整数且 $m_1 \geq m_2$, 则由满足条件的 P_i 构成一个新集合 M_k , 将 M_k 中的所有元素用“或”运算符连接起来,并将连接的结果和规则 s 的前提集合用“与”运算符连接起来进行运算;否则,从所有 P_i 中取 $|PP_i - NP_i|$ 值最大的 P_i , 将它和规则 s 的前提集合用“与”运算符连接在一起,并令当前最大的所有 P_i 置为 M_k 。

(d) 从正实例集 PE 和反例集 NE 中删去满足规则 s 的前提集合中所有正实例和反实例,进行如下判断:

若 $PE \neq \emptyset$, 则 $M = M - M_k$, 转 (b);

若 $PE = \emptyset$, 将规则 s 加入到规则集 S 中, 即 $S = S \cup \{s\}$, 返回规则 s , 新规则构造子过程结束, 转 e)。

e) 若 $PE \neq \emptyset$, 将新规则 s 加入到规则集 S 中, 即 $S = S \cup \{s\}$, 转 d); 否则转 f)。

f) 若结论集 C 中存在未取过的结论 c , 转 b); 否则, 算法结束。

4 实例

以某日(班)计划内 D854 次旅客列车于 22:19 到达广州东站的股道运用实时决策为例。

a)股道运用计划:D854 次旅客列车停靠 6G,停靠 6G 的上一旅客列车 T844/T845(立折旅客列车,图定到开时刻:21:54、22:09)。

b)实时决策背景:由深圳开往广州东方向的 T844 次旅客列车因樟木头至东莞间线路改造升级施工影响,晚点 12 min,于 22:06 到达广州东站,停靠五站台 6 道;因列车晚点给旅客带来不变,正与车站工作人员进行交涉,致使立折旅客列车无法准时完成客车车底整备作业,T844/T845 次旅客列车车底一直占用五站台 6 道,为确保正常车站作业组织,需对 D854 次旅客列车的股道运用方案进行实时决策。

c)D854 次旅客列车基本信息:终到旅客列车、始发站(深圳)、终到站(广州东)、到达时分(22:19)、股道固定使用方案(公交化动车组,股道固定使用方案编号 S001,可占用股道 IIG、6G、8G、20G)、有限度(4)。设 D854 次旅客列车的接车占用进路、终到作业占用股道、往返客技站与到发场的时间范围(或期望时间)分别为:2~4 min(或 3 min)、18~30 min(或 25 min)、7~10 min(或 8 min)。

结合 D854 次旅客列车属性、《站细》、车站值班员经验,构建实时决策推理物元的衡量条件,即

条件 SC_1 :待解实例 D854 占用接车进路时间[2,4];

条件 SC_2 :待解实例 D854 占用客运站到发场股道时间[18,30];

条件 SC_3 :待解实例 D854 入库作业时间[7,10]。

待解实例 D854 的实时决策推理过程大致如下:

a)一次检索。结合 D854 次旅客列车属性、作业的期望时间,构造待解实例,通过对实例库中所有实例的检索,尚未找到与待解实例 D854 完全一致的相同实例。

b)二次检索。结合实时决策推理物元的衡量条件,分析待解实例邻域结构,调整待解实例 D854 的列车物元的属性接车占用进路、终到作业占用到发场股道、入库作业时间的取值(以区间值代替股道值),通过对实例库中所有实例进行检索,找到五个相似实例,构成待解实例 D854 的相似实例集合。待解实例 D854 的相似实例集合如表 1 所示。

表 1 二次检索的相似实例集合(仅列出关键属性)

实例标志	作业性质	客车种类	固定使用方案	到达时间	接占进路/min		占用股道/min		入库作业/min	
					下限	上限	下限	上限	下限	上限
S10048	终到	动车	S001	22:29	2	5	30	50	7	12
S10053	终到	特快	S002	22:14	4	6	40	70	8	15
S10104	终到	动车	S001	22:41	3	5	20	40	6	8
S10152	终到	特快	S012	21:49	3	5	30	70	8	14
S10205	终到	回空	S007	22:17	3	6	50	-	10	15

注:作业性质栏中“终到”表示需办理车底入库作业的终到旅客列车;客车种类栏中“回空”表示回空客车车底;股道运用使用方案 S001 可占用股道依次是 IIG、6G、8G、20G;S002 可占用股道依次是 10G、12G;S007 可占用股道依次是 14G、16G、6G、8G、10G、12G、IIG;S012 可占用股道依次是 5G、7G、16G、14G、6G、IIG、10G、12G、20G、8G 等,占用股道上限为“-”表示没有上限约束

采用实时决策 K 算法,计算待解实例 D854 与相似实例集合中各相似实例的相似程度即优度,如表 2 所示。

表 2 待解实例匹配优度

	实例标志				
	S10104	S10048	S10152	S10205	S10053
优度	0.937	0.885	0.837	0.792	0.642

由表 2 易知,选取相似实例 S10104 的股道运用方案作为待解实例 D854 的比照实例,即待解实例 D854 应占用客运站到发场股道 8G、客技站车底停留线 4G、虚拟调机送车底(即无须另行安排调机办理车底取送作业)。最后,根据推理物元中各类实时决策规则和知识,确定或调整比照实例的方案物元的相关属性或特征的具体取值,如接发车占用进路及其起止时间(J123、-104~-101 即 22:16~22:19)、列车占用站台(四站台)等。若遇到相关设备临时故障、安全事故等特殊情,也可利用推理物元中各类实时决策规则和知识作出最终决策。

由以上分析易知,本文提出的客运站股道运用实时决策推理方法不仅能为解决一般情况下股道运用计划制订和实时调整提供决策支持,还能有效地辅助车站值班员解决特殊情况下客运站股道运用实时决策优化问题。

5 结束语

采用物元理论,通过模拟车站值班员解决特殊情况下客运站股道运用实时决策的思维过程,综合考虑股道运用实时决策优化问题的结构化与非结构化因素,构建基于实例的实时决策推理物元模型;采用优度评价法,设计了实时决策 K 算法,用来衡量待解实例和实例库中各实例之间的相似程度,在此基础上提出了基于实例的实时决策推理算法;采用基于双空间模型的归纳学习法,设计基于实例的自学规则算法,补充与扩充推理物元的推理规则,丰富实例集,优化实时决策知识库结构,提高客运站股道运用实时决策的智能化水平。列车物元、方案物元和推理物元经适当修改后,即可将提出股道运用实时决策推理方法推广用于铁路客运站、区段站和编组站的实际生产过程中,所提出的方法具有一定的现实指导意义。

参考文献:

- [1] ZWANEVELD P J, KROON L G, Van HOESEL S P M. Routing trains through a railway station based on a node packing model[J]. *European Journal of Operational Research*,2001,128(1):14-33.
- [2] HUISMAN D, KROON L G, LENTINK R M, et al. Operations research in passenger railway transportation [J]. *Statistica Neerlandica*, 2005,59(4):467-497.
- [3] CRAEY M, CRAVILLE S. Scheduling and platforming trains at busy complex stations [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*,2003,37(3):195-224.
- [4] CHAKROBORTY P, VIKRAM D. Optimum assignment of trains to platforms under partial schedule compliance[J]. *Transportation Research Part B:Methodological*,2008,42(2):169-184.
- [5] 张英贵,雷定猷,刘明翔.铁路车站股道运用排序模型与算法[J]. *中国铁道科学*,2010,31(2):96-100.
- [6] 张英贵,雷定猷,王娟. CTC 条件下铁路客运站股道运用决策支持系统[J]. *交通运输工程学报*,2011,11(4):89-97.
- [7] 贾文峰,毛保华,何天健,等.大型客运站股道分配问题的模型与算法[J]. *铁道学报*,2010,32(2):8-13.
- [8] 张英贵,雷定猷,汤波,等.铁路客运站股道运用窗时排序模型与算法[J]. *铁道学报*,2011,33(1):1-7.
- [9] 韩伯领,陈治亚,雷定猷.超限超重货物装载决策推理研究[J]. *中国铁道科学*,2008,29(4):116-120.
- [10] 蒋占四,陈立平,罗年猛.最近邻实例检索相似度分析[J]. *计算机集成制造系统*,2007,13(6):1165-1168.
- [11] FINNIE G, SUN Zhao-hao. A logical foundation for the case-based reasoning cycle [J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2003,18(4):367-382.