

8-20-2020

Modeling of High-speed Railway Operation Informational Interaction Process Using OOPN

Liping Feng

1. School of Transportation & Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;;2. National United Engineering Laboratory of Integrated and Intelligent Transportation, Chengdu 610031, China;

Qiyuan Peng

1. School of Transportation & Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;;2. National United Engineering Laboratory of Integrated and Intelligent Transportation, Chengdu 610031, China;

Wen Chao

1. School of Transportation & Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;;2. National United Engineering Laboratory of Integrated and Intelligent Transportation, Chengdu 610031, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling of High-speed Railway Operation Informational Interaction Process Using OOPN

Abstract

Abstract: High-speed railway transportation is an informational interaction process involving multi-levels and multiple subsystems. The majority of the present study focuses on the local system, causing some limitations to the overall control of high-speed rail traffic command. The high-speed railway operation process covering traffic control subsystem, train control subsystem, computer interlocking subsystem were researched with the key point of information interaction. Then the future directions were proposed, modeling and application respectively, which could remind of the deepen research on high-speed railway operation. Based on OOPN, the HTOIIP model with the formalized definition was built.

Keywords

high-speed railway, train operation, informational interaction, OOPN

Recommended Citation

Feng Liping, Peng Qiyuan, Wen Chao. Modeling of High-speed Railway Operation Informational Interaction Process Using OOPN[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(4): 697-705.

基于 OOPN 的高速铁路行车指挥信息交互过程建模

冯丽萍^{1,2}, 彭其渊^{1,2}, 文超^{*1,2}

(1. 西南交通大学交通运输与物流学院, 成都 610031; 2. 综合交通运输智能化国家地方联合工程实验室, 成都 610031)

摘要: 高速铁路行车指挥过程是一个多层次、涉及多系统的信息交互过程, 目前的研究多侧重于局部系统的研究, 对高铁行车指挥的全局控制具有一定的局限性。以信息交互过程为切入点, 对涉及该过程的行调子系统、列控子系统、计算机联锁子系统进行统一建模, 并提出全局模型在建模及应用两方面的拓展方向, 为高速铁路行车指挥过程的后续研究提供新的思路。论文基于面向对象的 Petri 网(Object-Orient Petri net, OOPN)建模方法建立高速铁路行车指挥信息交互过程模型并作出形式化定义。

关键词: 高速铁路; 行车指挥; 信息交互; OOPN

中图分类号: U292.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X(2015)04-0697-09

Modeling of High-speed Railway Operation Informational Interaction Process Using OOPN

Feng Liping^{1,2}, Peng Qiyuan^{1,2}, Wen Chao^{*1,2}

(1. School of Transportation & Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. National United Engineering Laboratory of Integrated and Intelligent Transportation, Chengdu 610031, China)

Abstract: High-speed railway transportation is an informational interaction process involving multi-levels and multiple subsystems. The majority of the present study focuses on the local system, causing some limitations to the overall control of high-speed rail traffic command. *The high-speed railway operation process covering traffic control subsystem, train control subsystem, computer interlocking subsystem were researched with the key point of information interaction. Then the future directions were proposed, modeling and application respectively, which could remind of the deepen research on high-speed railway operation.* Based on OOPN, the HTOIIP model with the formalized definition was built.

Keywords: high-speed railway; train operation; informational interaction; OOPN

引言

随着高速铁路的网络化建设运营, 以及既有线与高速铁路跨线运营模式的实施, 高速铁路行车指挥技术体系正向集调度指挥、运行控制、安全监控、运营管理、服务等为一体的系统化、综合性系统发展^[1,2]。在这样的发展形势下, 基于计算机的高速铁

路行车指挥系统在软件上将存在大量的功能集成及不同分布式系统间双向、实时、大容量的信息交互, 而为保证系统安全, 硬件设备也不得不进行多层次的复杂冗余设置, 从而导致系统在结构、交互关系和功能逻辑等方面的复杂性。因此, 针对于高速铁路行车指挥全局信息交互过程的行为特性研究是十分必要的, 而该信息交互过程建模是研究的基础。

高速铁路行车指挥信息系统由调度集中系统、列控系统和计算机联锁系统构成。目前, 由于隶属单位、工种等的人为划分, 高速铁路行车指挥系统不论是实际应用还是理论研究都存在局部大于全局的问题。其中又以列车运行调整策略制定、评价



收稿日期: 2014-04-02 修回日期: 2014-07-16;
基金项目: 国家自然科学基金(U1234206); 高等学校博士学科点专项科研基金(20130184120021); 西南交通大学研究生创新实验实践项目(YC201407220);
作者简介: 冯丽萍(1989-), 女, 山东临沂人, 博士生, 研究方向为高速铁路运输组织优化; 彭其渊(1962-), 男, 教授, 博导, 研究方向为运输组织优化理论与方法、交通运输规划与系统优化; 文超*(通信作者 1984-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为铁路行车组织优化。

方法的研究较多^[3-4]。文献[5-6]基于面向对象 Petri 网(OOPN)建立列车/列车群运行模型,并进行了分布式仿真,论文以在精确标识条件下的单列车运行为研究对象,并未考虑群列车之间的交互关系。文献[7]综合利用时钟推进和事件推进的仿真策略对高速铁路行车组织过程进行了仿真演示,但对于不同元素之间的关系以功能实现为目标,并不涉及具体的实现过程。文献[8]综述了既有研究中涉及行车指挥中列车交会、平交道口、联锁控制、RBC 的形式化方法,并提出了基于 CSP-OZ-DC 的列车运行控制表示方法。文献[9]针对移动闭塞下的联锁控制利用 Z 方法进行形式化建模并进行了安全分析。

在既有研究中,行车指挥多以子系统或子元素为研究对象,通过假设处理将研究对象以外的子系统/子元素作为外部环境隔离,淡化了子系统/子元素之间的关联关系。而随着高速铁路运营速度的提升和系统功能集成的实现,行车指挥系统内各子系统/子元素之间关联关系的可信性将大大影响行车安全。基于此考虑,论文以高速铁路行车指挥系统内各子系统/子元素之间的关联关系为研究对象,以信息交互过程为切入点建立高速铁路行车指挥的信息交互过程模型,为后续高速铁路行车指挥中各子系统之间的信息交互影响分析奠定基础。

1 建模目标系统分析

1.1 实验框架建立

实验框架的概念是由美国亚利桑那大学的 B P Zeigler 教授在其基于 DEVS 的仿真实理论中提出,主要是对在目标系统抽象过程中的观测或实验条件和环境进行描述,包括各种假设、目标和限制条件等^[10]。本文针对与高速铁路行车指挥密切相关的调度集中(CTC)行调子系统、列控子系统、计算机联锁子系统,在高速铁路列车运行过程中的信息交互过程建立模型。建模过程的前提条件或假设如下:

(1) 对象范围为一高速列车运行区段或调度区段,运输任务及计划列车运行图由目标系统外界环境给出;

(2) 目标对象为与高速铁路列车运行直接相关的三大子系统,对于相关的动车组运用计划、乘务员调度计划及施工维修计划等细节转化为关于列车运行调整、临时限速等的行调台调度命令;

(3) 建模过程以信息交互关系为切入点,着重于系统功能以及系统相应的逻辑结构而不依赖于具体的工程实现形式。

基于以上前提假设,利用 UML(United Modeling Language, 统一建模结构语言)中的用例(use case)建立目标模型的实验框架如图 1 所示。论文基于系统外界给予的运输任务实现列车运行调度控制、进站控制、行车许可生成控制下的列车运行过程建模,并对 4 个子模块的过程信息输出,用于观察分析。

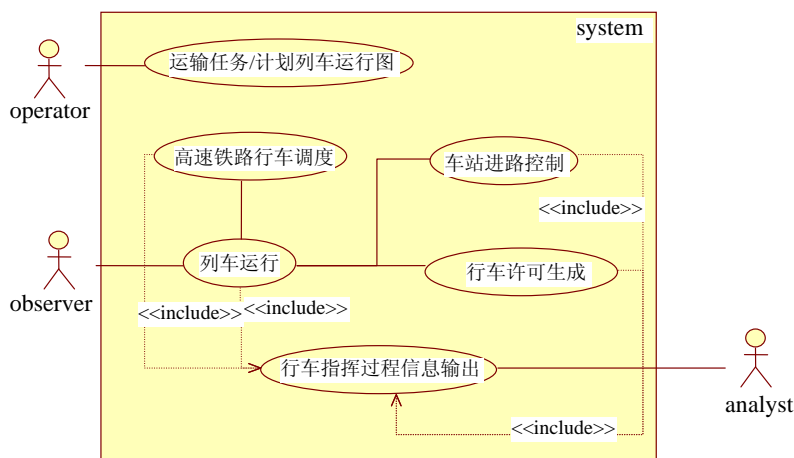


图 1 高速度铁路行车指挥信息交互建模用例图

1.2 对象提取及静态建模


高速铁路行车指挥是一个涉及多部门、多环节协同作用的复杂过程。由于目标系统中对象众多, 因此, 论文在实验框架基础上, 对目标系统中的对

象类进行了抽象, 并对其属性和操作进行了定义, 如表 1 所示。其中, 对任一对象的属性是基于建模目的抽象后的结果, 而操作则定义了对象类通过接收其他对象信息后可激发相应的动作, 并以此对自身对象类属性修改的过程。

表 1 目标系统类定义

类	聚合类/继承类	属性	操作
train (列车)	own_train (本线列车)	ID (列车号)	始发: start();
		State (列车运行状态, 包括列车位置, 运行速度等)	移动: move();
		Assignment (运输任务)	到达: arrive(); 车站作业: station operation();
station (车站)	overline_train (跨线列车)	ID (列车号)	上线: in();
		State (列车运行状态, 包括列车位置, 运行速度等)	移动: move();
		Assignment (运输任务)	下线: out(); 车站作业: station operation();
	train operator (行调)	Name (行调员姓名) Jurisdiction (管辖范围)	注册: register(); 运行调整: operation adjustment(); 临时限速: TSR send(); 相邻调度台交接: handover();
station (车站)	station track (股道)	Number(编号);	股道出清: unused();
		interlocking relationship (联锁关系)	股道占用: used();
		switch (道岔)	Number(编号); interlocking relationship (联锁关系)
set (区间)	protection signal (防护信号机)	Number(编号);	信号机开放: open();
		interlocking relationship (联锁关系)	信号机关闭: close();
		RBC (无线闭塞中心)	Number(编号); jurisdiction(管辖范围)
transponder (应答器)	TCC (列控中心)	Number(编号);	注册: register();
		jurisdiction(管辖范围)	临时限速: TSR(); 行车许可: MA(); 轨道占用: set used(); 相邻 TCC 交接: handover();
		passive transponder (无源应答器)	Number(编号);
	active transponder (有源应答器)	Number(编号);	信息发送: send(); 列车定位: train position();

在对目标系统抽象出来的对象类进行定义之后, 我们利用 UML 对类之间的关联关系进行静态

建模如图 2 所示。其中符号  代表了对象类之间的聚合关系, 即对象类组成了被指向对象类;

符号—▷代表对象类之间的继承关系，是面向对象技术中实现重用、资源共享的重要方法，子类在

父类继承的基础上发展了自身特性。

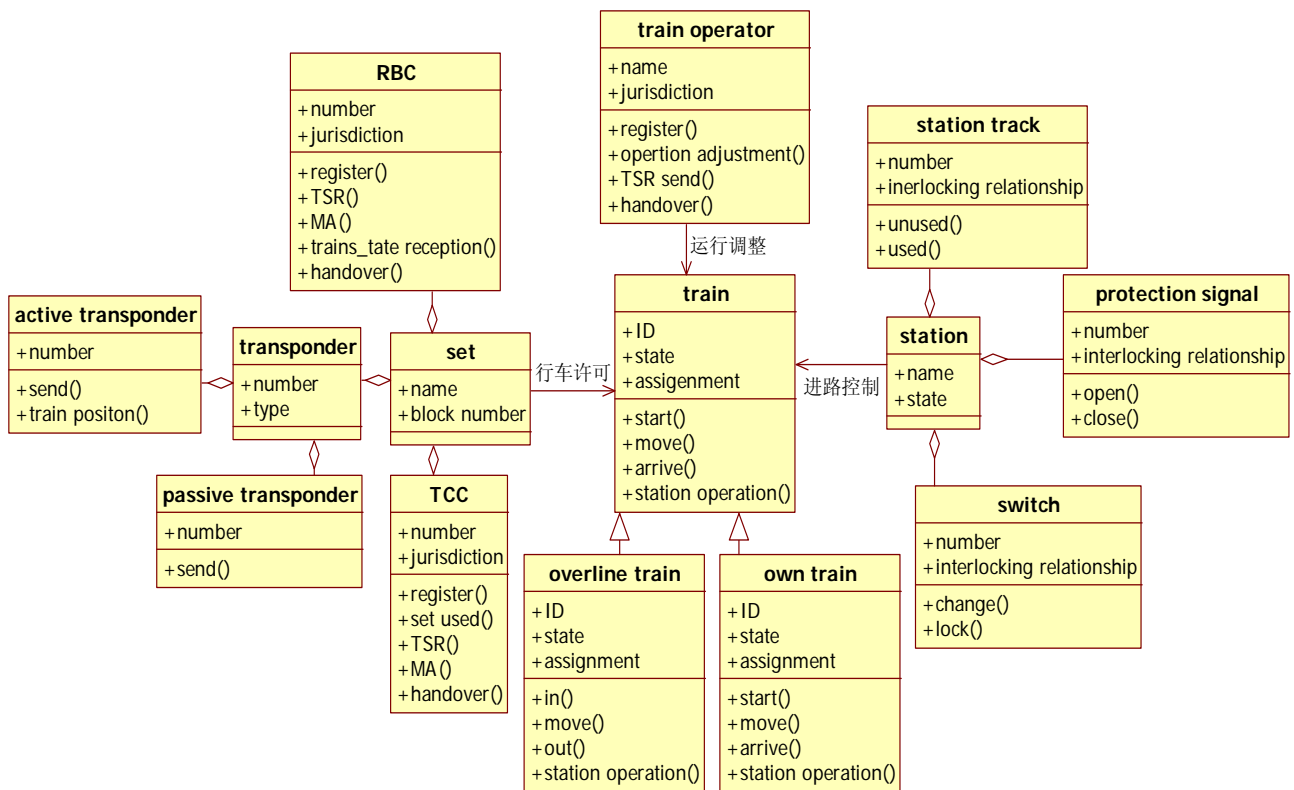


图 2 对象类关联关系图

2 信息交互模型建立

2.1 OOPN 建模方法

Petri 网是由 Carl Adam Petri 于 1962 年在其博士毕业论文中提出，经过几十年的发展，Petri 网理论以其简单的图形化表示和强大的数学理论支撑，在处理系统并发、异步、冲突、顺序等方面得到越来越多的应用^[1]。其中，面向对象的 Petri 网 (Object Oriented Petri Net, OOPN) 是将面向对象技术与 Petri 网建模技术结合后的结果。通过这种结合，在保持 Petri 网图形化表示方法和数学分析技术的同时，通过面向对象技术实现模型的模块化、可重复使用性，并提升了模型与系统之间的直观比照。在使用 OOPN 方法对高速铁路行车指挥信息交互过程建模过程中，面向对象的技术主要体现在以下两个方面：

(1) 总体框架设计上分为行调子系统(CTC)、列车运行子系统(Train_Operation)、列控子系统(CTCS)、计算机联锁子系统(CIS)4 个子模块，然后将每个子模块作为独立对象进行分别建模。这样，总框架建模问题转化为子模块之间的信息接口问题，而子模块内部相互独立，简化了系统建模复杂度；

(2) 在对子网进行建模时，将 Petri 网中的托肯标识作为对象，将面向对象的思想引入到 Petri 网建模中。将对象作为托肯表示放入 Petri 网中，变迁的作用即调用对象中的操作，继而改变对象属性，实现 Petri 网中信息的动态流动。

2.2 目标系统总框架建模

依据 OOPN 建模的指导思想，建立高速铁路行车指挥信息交互过程的总体框架如图 3 所示。对其作出形式化定义如下：

高速铁路行车指挥信息交互过程(High_speed Train Operation Informatinal Interaction Process) $HTOIIP = (T, P; F, store)$, 其中:

(1) $T = \{CTC, Train_Operation, CTCS, CIS\}$, 代表总框架中 4 个子系统;

(2) $P = \{TOA, TSR, SAR, SA, MAR, MA, \}$, 代表 4 个子系统之间的信息交互流, 其中: TOA 代表列车运行调整命令; TSR 代表临时限速命令; SAR 、 SA 分别代表进路请求和进路请求结果; 同理, MAR 、 MA 分别代表行车许可请求和行车许可请求结果;

(3) $F \subseteq T \times P \cup P \times T$ 代表子系统与接口信息之间的关联关系;

(4) $store = \{TOP, SS, TS\}$, 在 Petri 网建模与仿真软件 ExSpect 中, “ \otimes ”(store)表示数据库, 可进行数据的共享、修改、查看等操作。在 HTOIIP 模型中主要有列车运行计划(TOP)、列车运行状态(TS)、车站设备状态(SS)3 个数据库。

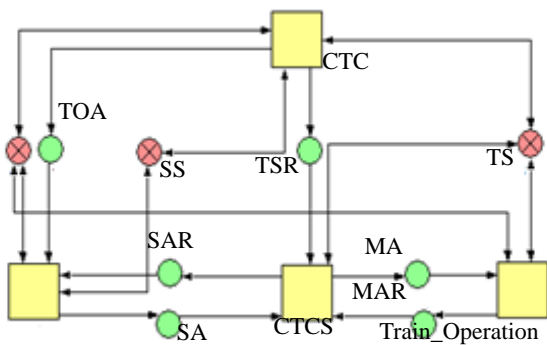


图 3 HTOIIP 总框架建模

2.3 列控子系统建模

本文以我国通道型高速铁路主型发展的 CTCS-3 级列控系统为例, CTCS-2 系统作为备用系统运行。此外, 基于我国目前既有有线列车(一般采用 CTCS-2 级列控系统)跨线运行的组织模式, 在对高速铁路行车指挥信息交互过程建模时同时考虑 CTCS-2 和 CTCS-3 两级列控系统。

在 CTCS-2 级列控系统中, TCC 通过轨道占用情况依据 3 显示/4 显示自动闭塞信号显示规则控

制轨道电路向列车发送行车许可, 同时利用应答器(transponder)向列车发送线路信息, 在有临时限速命令的区段, 通过有源应答器(Active_Transponder)向列车发送临时限速信息 TSR。列车在接收所有信息后列控车载单元提供行车许可曲线, 控制列车运行。

在 CTCS-3 级列控系统中, RBC 依据列车状态及临时限速命令(TSR)绘制行车许可曲线, 并利用 GSM-R 传输给列车, 控制列车运行。此时, 轨道电路仅用于列车占用检查, 应答器则用于列控级别转换、自动过分相等信息传输。

根据以上分析, 利用 ExSpect 软件绘制列控子系统信息交互流程图如图 4 所示, 对其形式化定义如下:

$CTCS = (T_1, P_1; F_1, store_1)$, 其中:

$$(1) T_1 = \left\{ \begin{array}{l} TCC, Passive_Transponder, \\ Active_Transponder, GSM_R, \\ CTCS_2, RBC, Track, Decid1 \end{array} \right\},$$

其中变迁 $Decid1$ 是对高速铁路本线列车列控级别的判定, 当 RBC(Check_State) 或者 GSM-R(Check_State1)出现故障时, 列控级别降为 CTCS_2 级。剩下所有变迁均以系统抽象类命名, 通过对象类的操作改变属性推动系统动态进行;

$$(2) P_1 = \left\{ \begin{array}{l} TSr1(2), line_information, \\ \overline{oline_train}, MA1(2), \\ unused_block(1), InP_1, \\ Check_State(2,3), OutP_1 \end{array} \right\},$$

代表经过对象类变迁处理的信息, 其中 $unused_block(1)$ 代表空闲闭塞分区数目, InP_1 代表 CTCS 子系统从子系统外界接受的信息, 而 $OutP_1$ 代表 CTCS 子系统向外界传输的信息;

(3) $F_1 \subseteq T_1 \times P_1 \cup P_1 \times T_1$, 代表 CTCS 子系统中对象类变迁与信息库所之间的关联关系, 具体如图 4 所示;

(4) $store_1 = \{TS\}$, CTCS 子系统共享 TS 中的数据, 以此为依据延伸行车许可 MA。

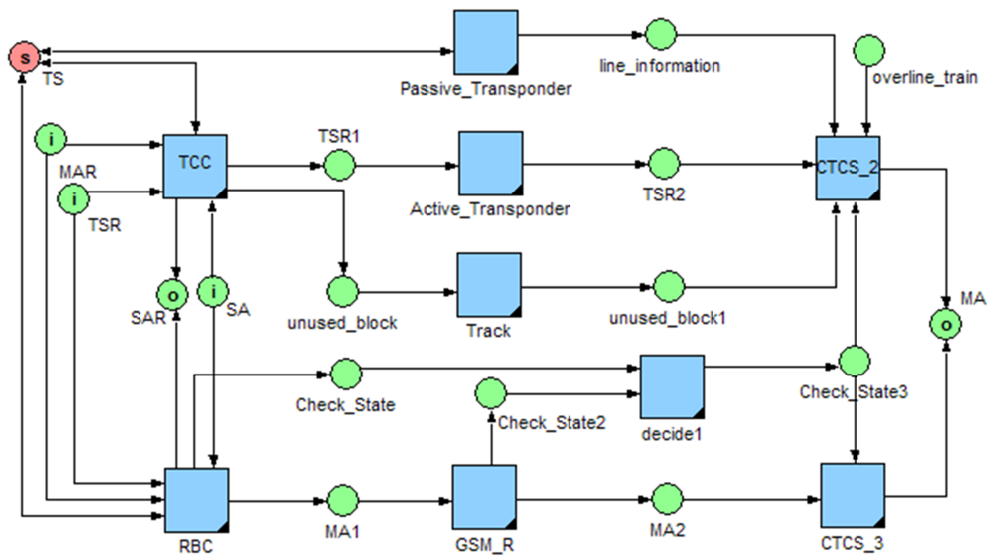


图 4 CTCS 子系统信息交互模型

2.4 列车运行子系统建模

列车运行子系统描述了列车对象从始发到终到完成运输任务的过程,其中,列车运行计划TOP中定义了列车类型,运输任务,以及相应的计划时间,同时列车群之间的行为交互是以时间为推演标准的,因此在模型中引入时间“⊗”(time)。Train_Operation 子系统信息交互过程如图 5 所示,对其作出形式化定义如下:

$Train_Operation = \{T_2, P_2; F_2, store_2, time\}$, 其中:

(1) $T_2 = \{Start, arrive, decide\}$, 其中变迁 *decide* 是在列车到达车站 (*arrive*) 之后判定该车站是否为终到站,若是则该列车的运输任务完成 (*finished*), 否则,列车依据列车运行计划继续进入下一区间 (*set*);

(2) $P_2 = \{set, station, finished, InP_2, OutP_2\}$, 其中 *station* 代表列车位于车站, $OutP_2 = \{MAR\}$, 代表 *Train_Operation* 子系统向外界发送行车许可请求, $InP_2 = \{MA\}$, 代表 *Train_Operation* 子系统接收行车许可;

(3) $F_2 \subseteq T_2 \times P_2 \cup P_2 \times T_2$, 代表 *Train_Operation* 子系统内变迁与库所之间的关联关系;

(4) $store_2 = \{TOP, TS\}$, *Train_Operation* 依

据列车运行计划(TOP)实施运输任务,并随着时间的推进改变列车运行状态(TS);

(5) *time* 为全局时间,作为变迁触发的参考条件之一推动系统内的事件发展,直至完成所有运输任务。

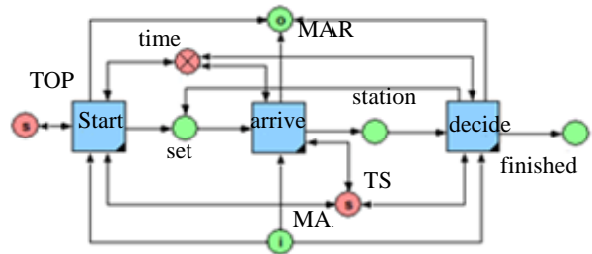


图 5 Train_Operation 信息交互模型

2.5 行调子系统建模

对 CTC 调度集中系统中与行车指挥直接相关的行调进行信息交互建模,如图 6 所示。对其作出形式化定义如下:

$CTC = \{T_3, P_3; F_3, store_3, time\}$, 其中:

(1) $T_3 = \{Train_Operator, conflict_resolution\}$, 其中, *Train_Operator* 主要基于 $store_3$ 中的信息,监控是否出现运行冲突 (*conflict*) 并在适当的时间向有临时限速的区段下达 *TSR* 调度命令,该调度命令继而进入 *Train_Operation* 子系统并通过

TCC/RBC 传输到列控车载设备上, 用于列车控制。*conflict_resolution* 则是在冲突出现后进行运行调整(*TOA*), 消解冲突;

(2) $P_3 = \{conflict, OutP_2\}$, 其中

$OutP_2 = \{TSR, TOA\}$, 代表行调子系统向外界传输临时限速命令和列车运行调整命令;

(3) $F_3 \subseteq T_3 \times P_3 \cup P_3 \times T_3$, 代表行调子系统中变迁与库所之间的关联关系, 具体如图 6 所示;

(4) $store_3 = \{TOP, TS, SS, TSRS\}$, 数据库中的信息是行调员作出判断决策的基础, 其中, *TSRS* 为临时限速服务器, 其中存储了计划临时限速的相关信息并在恰当的时间提醒行调员, 激发变迁。

(5) *time* 的定义如前所示, 是保证各子系统状态变化实时更新的重要保障之一。

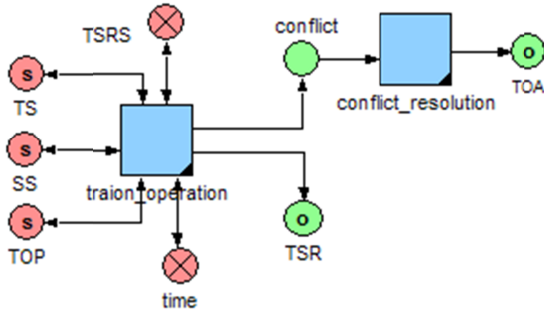


图 6 CTC 子系统信息交互模型

2.6 计算机联锁子系统建模

计算机联锁子系统保证了进路排列中站内轨道电路(*Station_Track*)、道岔(*switch*)、防护信号机(*Protection_Signal*)之间的联锁关系。在高速铁路行车指挥系统中主要对进路请求(*SAR*)进行处理, 给出进路请求结果(*SAR*)。*CIS* 子系统的信息交互过程模型如图 7 所示, 对其作出形式化定义如下:

$CIS = \{T_4, P_4; F_4, store_4, time\}$, 其中:

$$(1) T_4 = \left\{ \begin{array}{l} CTC_Subsystem, switch, Protection_ \\ Signal, Station_Track \end{array} \right\}$$

其中, *CTC_Subsystem* 变迁功能类似于计算机联锁子系统中车站自律分机的作用, 基于可用信息, 对外界进路请求进行判定, 若符合办理条件(*OK*)

则触发进一步动作, 否则直接返回失败的进路请求结果(*SA*);

$$(2) P_4 = \left\{ \begin{array}{l} OK, Switch_On, Light_ \\ On, InP_4, OutP_4 \end{array} \right\}$$

其中, *Switch_On*、*Light_On* 分别表示道岔和防护信号机在进路办理过程中的就绪状态, $OutP_4 = \{SA\}$ 代表 *CIS* 子系统的唯一输出为进路请求结果, $InP_4 = \{TOA, SAR\}$ 代表列车运行调整体现在了 *CIS* 子系统内进路办理上, 进而作用于列车运行过程;

(3) $F_4 \subseteq T_4 \times P_4 \cup P_4 \times T_4$, 表示 *CIS* 子系统内各变迁与库所之间的关联关系;

(4) $store_4 = \{TOP, SS\}$, 代表 *CIS* 子系统共享列车运行计划, 并用于控制进路办理流程, 而进路办理完成后将改变车站状态数据库(*SS*)中的信息状况;

(5) *time* 同为全局时间, 作为车站进路办理的判断依据之一。

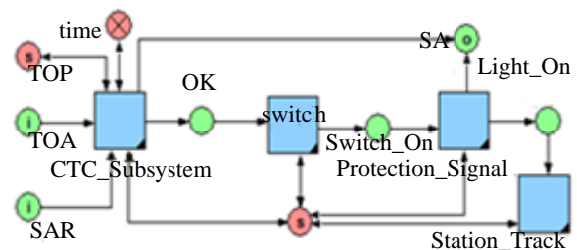


图 7 CIS 信息交互模型

3 信息交互过程模型的仿真实现

信息交互过程模型的建立是对高速铁路行车指挥内相关子系统/子元素之间交互关系的梳理, 是对高速铁路行车指挥过程的静态建模。在此基础上, 通过 ExSpect 软件中的数据结构类型定义、函数定义等实现 HTOIIP 模型中的面向对象 Petri 网的初始化标识及动态演化过程。根据具体研究目的的不同, 定义不同的标识变量(flag)及统计变量, 通过评价指标的建立、量化、统计分析等可以实现对高速铁路行车指挥过程行为特性的研究。

以列车运行子系统为例, 该子系统共有 *start*,

arrive, decide 三个变迁, 用以改变库所中托肯状态, 即变量属性。首先, 自定义变量的数据类型如表 2 所示。

表 2 数据类型定义及含义

变量名	数据类型	含义
train	[ID: str,	/列车车次号
	state: str,	/列车位置
	assignment: Lists,	/列车运行计划途
	timenode: num]	径车站序列
station	[number: str]	/车站序列号
set	[number: str]	/区间序列号
TS	\$([train.ID: str,	/列车车次号
	station.number: str,	/所在车站序列号
	set.number: str	/所在区间序列号
TOP	\$train	/列车集合
time	num	/实时时间
MA/MAR	bool	/行车许可请求及 反馈结果

其次, 通过 ExSpect 软件中的程序语言, 书写变迁触发规则。以 start 为例, 创建 start() 函数并定义如下:

```
if time>=TOP.train.timenode and MA<-true then
train.timenode<-time,
train.state<-set,number
else
MAR<-true
fi
```

其中 MA, MAR 是该子系统与其他系统之间的接口。此处仅作为示范, 将行车许可的请求内容及行车许可请求结果以布尔变量表述。与此类似, 完成变迁 arrive 及 decide 的定义。其中 decide 变迁用于判断列车是否到达终到站, 若是, 则库所 finished 中的托肯将存储列车车次, 否则继续进入区间运行。

高速铁路行车指挥信息交互过程模型的仿真是在综合利用时钟推进和事件推进下实现的。其中时钟推进主要体现在高速铁路列车运行计划对列车运行的指导作用, 而事件推进则体现在事件变迁

出发条件的满足情况上。在该仿真策略下, 目标系统的仿真结果可以用于以下几个方面:

(1) 局部系统特性研究。基于传统研究思路, 在外部子系统静态确定下研究单个子系统的行为特性。如列车运行子系统的高速铁路运行计划完成质量评估, 列控子系统的信息传输可靠性等;

(2) 全局系统特性研究。利用本文的全局建模的研究成果, 以高速铁路行车指挥过程为研究对象, 综合评估高速铁路行车指挥信息传递过程的结构可靠性及功能可信性, 并基于研究结论提出系统功能集成过程中的可行性建议。如, 研究高速铁路行车计划完成质量评估, 在全局范围内可以追溯计划完成情况的致因及各子系统的贡献量。

4 模型拓展

考虑到面向对象技术自身的模块性、隐蔽性、继承性和类比性等特征, 尽管在基于 OOPN 对高速铁路行车指挥信息交互过程建模时提出了种种前提限制, 但是该模型在一定程度上可以进行扩展。拓展的方向主要有以下几种:

(1) 建模纵向拓展, 对 HTOIIP 模型中的某些对象类继续细化补充。例如, CTCS 列控系统中的 RBC 切换、应答器设置、降级情况处理等;

(2) 建模横向拓展, 即在 HTOIIP 模型的基础上引入新的子模块, 通过子模块聚合的方式构造更复杂的系统。例如考虑与行调密切相关的动车组运用计划、乘务员运用计划等, 或者将不同区段的 HTOIIP 模型通过聚合形成网络范围内的行车指挥信息交互模型;

(3) 模型应用拓展, 即在模型应用上拓展模型的适用范围。考虑到 HTOIIP 模型中的库所托肯采用了对象的形式, 而对象属性与操作是可以自行定义的, 因此, 通过加入识别托肯, 可以考察列车运行过程中的对象间的交互过程及其相互影响。

5 结论

高速铁路行车指挥信息交互过程是一个复杂

过程, 在建模之前进行合理的假设和限制条件是十分必要的, 但同时也不可避免地会对模型的精确程度和应用造成一定的影响。本文在实验框架的指导下建立了高速铁路行车指挥信息交互模型, 其中 OOPN 建模技术的应用为高速铁路领域内通过系统集成构造更复杂的大系统提供了可能。此外, 该模型可用于对既有高速铁路行车指挥信息交互过程的性能分析, 为结构改造、系统安全状态监控等提供决策支持。

参考文献:

- [1] 刘春煌, 桑苑秋, 李继先, 等. 沪宁线行车安全监控信息网络技术方案和管理中心的研究 [J]. 中国铁道科学, 2002, 23(6): 17-25.
- [2] 张惟皎, 刘春煌, 蒋荟, 等. 铁路行车安全综合监控系统的复杂性研究 [J]. 铁道运输与经济, 2004, 26(9): 39-41.
- [3] Tomita K, Ito K. Software in an evolving train traffic control system [J]. IEEE Software (S0740-7459), 2011, 28(2): 19-21.
- [4] 谢金鑫. 基于模糊优化方法的高速列车运行调整问题研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [5] 叶阳东, 杜彦华, 贾利民. 面向对象 Petri 子网的列车群运行系统模型 [J]. 中国铁道科学, 2002, 23(4): 83-90.
- [6] 刘春煌, 杜彦华. 基于对象 Petri 子网模型的列车群分布式仿真 [J]. 中国铁道科学, 2006, 27(1): 109-114.
- [7] Bai Zixi, Zhou Leishan, Yue Yixiang. The Simulation of High-speed Train Operation Using a Semi-physical Model [C]// Proceedings of the 12th International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2012). Reston, VA, USA: American Society of Civil Engineers, 2012: 1691-1699.
- [8] Xu B, Zhang L. Modeling of Train Control Systems Using Formal Techniques [M]// Computer Engineering and Networking. Springer International Publishing, 2014: 1349-1356.
- [9] Zafar N A, Khan S A, Araki K. Towards the Safety Properties of Moving Block Railway Interlocking System [J]. International Journal of Innovative Computing Information and Control (S1349-4198), 2012, 8(8): 5677-5690.
- [10] 刘宝宏. 面向对象建模与仿真 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 191.
- [11] 袁崇义. Petri 网原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 285.

《系统仿真学报》荣获“2014 中国最具国际影响力学术期刊”证书

由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心, 以美国汤森路透 Web of Science 收录的 1.2 万余种期刊为引文统计源, 首次研制发布了 2012《中国学术期刊国际引证年报》(CAJ-IJCR 年报)。第一次给出了我国 5600 余种中外文学学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标, 并采用了新的国际影响力综合评价指标 CI 对期刊排序, 发布了“中国最具国际影响力学术期刊”(排序 TOP5%)和“中国国际影响力优秀学术期刊”(排序 TOP5-10%), 在国内外学术界产生了较大反响。之后, 2013 年版年报, 将引文统计源期刊扩展到 1.44 万多种。目前, 2014 版国际、国内年报与 TOP5%和 TOP5-10%期刊的遴选业已完成, 《系统仿真学报》被列入“2014 中国最具国际影响力学术期刊”行列。

我学报连续 2 年被列入 TOP5%国内一流的中国最具国际影响力学术期刊, 走向世界, 进入国际一流, 指日可待!