

文章编号:1001-8360(2012)12-0076-07

基于科学工作流的铁路行车安全评价系统研究

杜彦华¹, 吴秀丽¹, 钱 程¹, 刘春煌²

(1. 北京科技大学 机械工程学院, 北京 100083; 2. 中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所, 北京 100081)

摘 要:针对铁路运输中列车安全评价的实际需求,依据科学工作流理论,提出一种基于开源软件 Kepler 的评价系统,从而有效实现行车安全预警并提供辅助决策依据。该系统主要通过扩展 Kepler 构建:一方面,实现多源监测数据的自动收集和共享融合;另一方面,增加 Kepler 的流程管控能力和个性化 Web 界面。在此基础上,针对列车运行特点,建立模糊综合评价的 Kepler 流程,对状态不良列车进行跟踪和综合评价,将数据和计算过程灵活组合成一套可配置的、自动化的科学计算流程。以部分现实数据为例,使系统的有效性得到验证。本系统不但能够有效解决行车安全评价问题,而且适用面广,也可应用于其他领域的评价问题。

关键词: 铁路运输; 安全评价; 科学工作流; 模糊综合评价; Kepler

中图分类号:TP391 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-8360.2012.12.012

Research on Train Operation Safety Evaluation System Based on Scientific Workflow

DU Yan-hua¹, WU Xiu-li¹, QIAN Cheng¹, LIU Chun-huang²

(1. School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In view of the practical need for safety evaluation of trains in railway transport, a novel evaluation system was proposed on the basis of the open source scientific workflow system——Kepler——to evaluate train operation safety and provide assistance to decision-making in management. This system was constructed by extending Kepler in the following two aspects: On one hand, automatically collecting and sharing multi-source monitoring data; on the other hand, extending Kepler's control capabilities and adding the personalized Web interface. Then, according to the operational characteristics of trains, the analysis processes were designed in this system, which could evaluate the current state of trains comprehensively and returned the real-time status of security for users. So this system could flexibly combine the data and calculations into a configurable, structured, automated computing solution. Finally, the application of some monitoring data was illustrated to verify the effectiveness of the system. It is seen that the proposed system can be applied in railway transport, and it is also suitable to a wide range of research fields to solve complicated problems.

Key words: railway transport; safety evaluation; scientific workflow; fuzzy comprehensive evaluation; Kepler

行车安全评价是指在铁路运输中通过收集处理车载或线路旁电气设备的各种信号,对当前时刻列车是否可能发生故障进行综合分析评价,从而避免事故的发生。铁路目前正朝着高速度、高密度、重载化等方

面发展,行车安全评价对于整个铁路运输行业的意义日益显著^[1-2]。

近年来,我国铁路已在应用安全技术方面采取诸多措施,加大了安全检测和监测装备的投入,全国已逐步建立多种行车安全监控系统^[2]。另一方面,学术界开展了许多相关研究工作:人因分析^[3]、故障诊断^[4]、事故预测^[5]、复杂性分析^[6]以及评价系统体系结构^[1]等。但是,目前还不能基于监控信息实现智能化的、实

收稿日期:2011-04-18;修回日期:2011-12-12

基金项目:国家自然科学基金(61004109)

作者简介:杜彦华(1979—),男,河南卫辉人,讲师,博士。

E-mail:duyanhua@ustb.edu.cn。

时的行车安全评价。主要原因如下：

(1) 面对的是大量异构的监控数据。数据规模越来越庞大,而且各监控数据由不同学科的设备独立提供,输入/输出方式不同,信息交换困难。

(2) 动态的逻辑处理过程。评价涉及到多学科的知识,是一个协同建模和分析的过程,在执行中需要根据实验流程的运行情况做出动态修改。

(3) 缺乏超级协同计算环境的支持。评价涉及到多个学科知识的融合应用,如外形、电气、控制等,越来越需要高性能计算环境。

针对上述问题,本文提出一种基于科学工作流的行车安全评价系统。该系统主要通过扩展开源软件 Kepler 进行构建;一方面,实现多源监测数据的自动收集和共享融合;另一方面,增加 Kepler 的流程管控能力和个性化 Web 界面。然后,针对列车运行的特点,建立相应的全局概念流程,并将其细化,建立模糊综合评价的 Kepler 流程,实现对状态不良的列车进行跟踪和综合评价。

1 评价系统的架构分析

1.1 整体架构

随着问题求解环境(Problem Solving Environment,PSE)在科学工作中的应用,近年来科学工作流(ScientificWorkflow,SW)技术逐渐被引入到各类问

题求解中。所谓科学工作流就是采用工作流的思想来描述和控制科学实验和过程的执行。它能够有效解决海量数据分析处理、动态的逻辑处理过程等问题,已在航天、地质以及医学领域得到成功应用^[7-9]。比较典型的科学工作流系统包括 Kepler、Taverna 和 Triana 等,其中 Kepler^[7]作为目前国际上广泛应用的开源科学工作流软件,具有可视化界面,便于模型的创建及修改^[8-9]。

针对行车安全评价问题,本文通过扩展 Kepler 构建整个评价系统,为行车安全评价提供分布式环境下的共享工作空间,包括提供高性能计算服务、数据管理服务以及分析展示工具等。通过基于 Kepler 的评价系统获取列车运行数据(包括传感器数据、监控图像、各类观测数据等等),并对所获取到的数据执行复杂分析,灵活组合相应的应用程序,从建模、执行、监控到归档,使得海量数据计算过程流程化。也就是说,通过对行车安全评价的业务特点进行分析,将 Kepler 作为整个评价系统的“中间级软件”,负责科学工作流的流程计算工作,从而节约大量开发成本。

如图 1 所示,整个行车安全评价系统的体系架构主要包括如下 3 个部分：

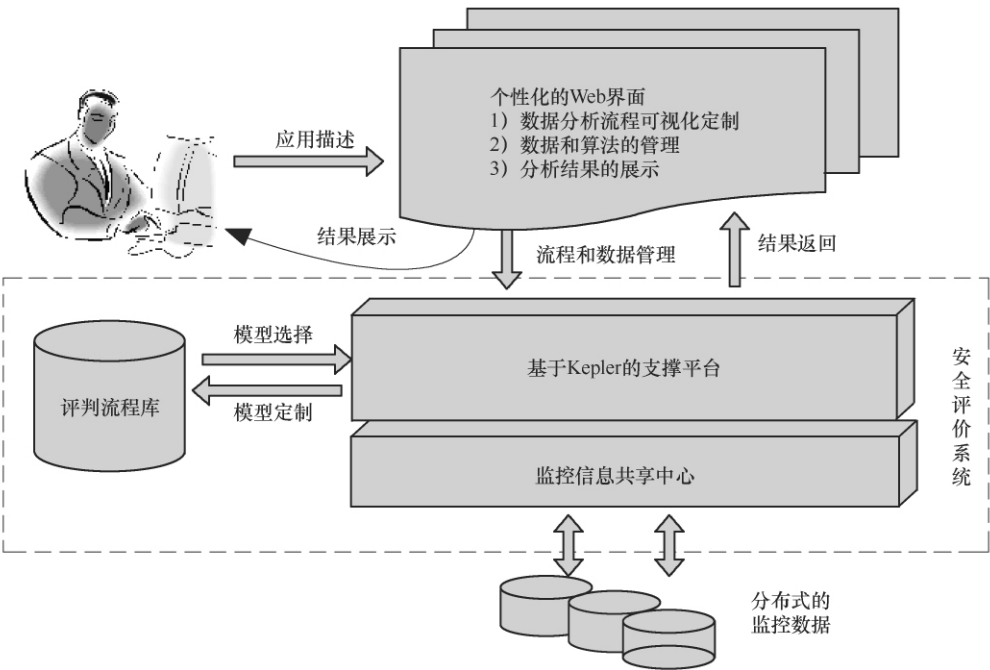


图 1 行车安全评价系统的体系架构

(1) 监控信息共享中心。分布式监控数据主要来自不同学科或部门的专业监测软件或系统,并结合人工检查信息,涉及诸多的数据类型,因此数据集

成、关联融合是基于 Kepler 的列车运行安全评价系统的关键。目前 Kepler 提供了 Web service、SRB、FTP、XML file 等多种获取数据方式,监控信息共享中心的

功能可以基于 Kepler 二次开发的程序来实现。

(2) 基于 Kepler 的支撑平台。它主要是基于 Kepler 系统,运行在整个系统的后台,负责 workflow 管理、数据管理、系统管理等方面的服务。另外,通过对 Kepler 提供的程序接口实施二次开发个性化的 Web 界面,从而作为用户提交计算分析需求的入口。用户可以通过它进行浏览文档、流程描述、可视化不同类型的计算流程或数据、计算分析结果的展示。总之,基于 Kepler 的支撑平台主要是通过调用 Kepler 系统提供的一系列应用程序接口,或者在 Kepler 之上二次开发的程序来实现。

(3) 评价流程库。它可存储多种评价流程,主要是基于模糊综合评价方法来评价列车系统故障的严重程度。首先对影响列车系统故障的各种部件故障进行重要度分析,确定部件故障因素与列车系统故障级别的模糊隶属关系,然后采用多层次评价模型对系统故障严重程度进行评价^[10-11]。这部分功能是 Kepler 已经支持的,因此本文不需要进行重新设计。

1.2 监控信息共享中心

由于受业务管理条块分割和专业视角封闭的局限,现有各监控子系统独自建设、彼此孤立。因此给系统内部及与外部系统的互联互通带来一系列问题,监控信息不能共享,无法实现跨专业、跨系统的综合分析和决策支持功能,阻碍系统建设水平和质量提升。

从信息内容和功能需求的角度,监控信息共享中心需要接入的监测信息大致分为以下两类:监测数据和状态自检数据。如图 2 所示。

(1) 监测数据是监测系统或检测设备采集的关于其监测或检测对象的特性和状态数据,其具体内容主要与监测系统或检测设备的功能相关。监测数据从性

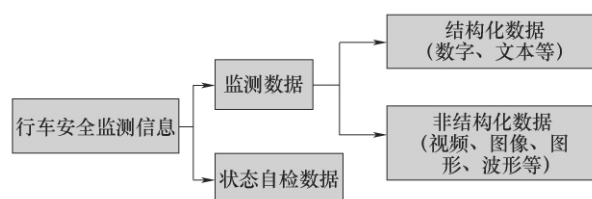


图 2 监测信息分类

质上还可细分为:结构化数据和非结构化数据。结构化数据是由按一定逻辑关系组织的数字或文本数据项构成,非结构化数据包括视频、图像、图形、波形等。

(2) 状态自检数据是监测系统或检测设备采集的关于自身工作状态或异常的检测数据,具体数据内容与系统或设备自身状态有关。

在数据传输模式上,监控信息共享中心采用“预约模式”实现对各类数据的整合。首先向各监控子系统预约某数据的更新信息,当被预约的数据所在系统数据更新时,转换成规范的、集成的逻辑数据模型。然后,按照信息共享平台规定的数据存储组织规范进行数据存储,从而实现数据的同步更新。

在具体实现监控信息共享中心时,既不能对现有各监控子系统干涉,又需要灵活柔性的对它们的数据进行实时融合。Kepler 提供 Web service、SRB、FTP、XML file 等多种方式获取研究所需要的科学数据。在实现时,可以调用 Kepler 系统提供的一系列应用程序接口,从而快速开发完成。如图 3 所示,通过 Web service、FTP 以及 XML file 等多种数据接入方法,把各监控子系统的数据绑定成符合规范的 XML 报文,或者把收到的 XML 报文解读成应用程序理解的格式。这些报文用来执行诸如数据提供、数据预约、数据请求与回复等各种操作。

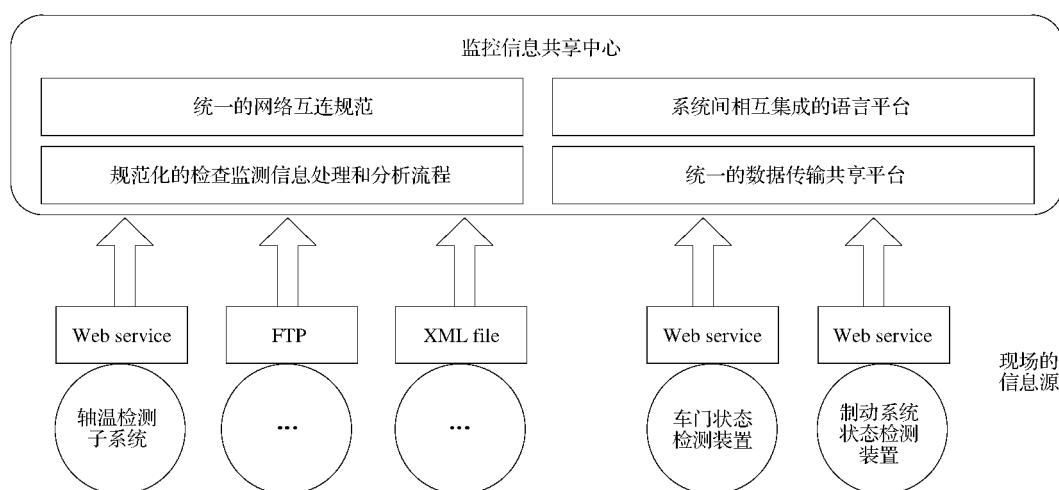


图 3 与其他业务系统或装置的信息集成

1.3 基于 Kepler 的支撑平台

如图 4 所示,基于 Kepler 的支撑平台包含如下功能:

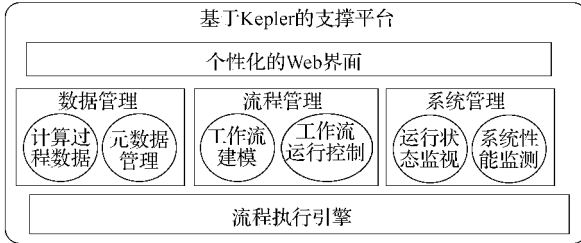


图 4 基于 Kepler 的支撑平台的功能分析

(1) 流程执行引擎:是整个支撑平台的核心。这部分功能由 Kepler 提供。在工作流执行时,流程由组合活动或者普通活动组成。对于每个流程,引擎有接收服务请求、判断是否满足 QoS、决定是否接受、拒绝服务或执行服务、消息的交互等具体功能。

(2) 数据管理:用于管理开展数值模拟所需的大量科学数据和计算中产生的科学数据,另外还负责整个支撑平台中各种文档与数据文件的管理、组织与集成,元数据(基础数据)的复制与备份等。

(3) 流程管理:用于整个支撑平台中工作流的可视化建模、运行控制管理等。这部分的功能由 Kepler 提供。本文在第 2 节进行较详细的讨论。

(4) 系统管理:提供工作流运行状态监视、系统性能监测等服务。通过预设一些关键性能指标以及业务规则,实时监控各方面的性能,并可视化地展现给用户。也可以对一些异常活动或者超时情况设置报警或提醒,以便将系统运行情况及时反馈给用户,通知用户进行处理。这部分通过调用 Kepler 系统提供的一系列应用程序接口,或者在 Kepler 之上二次开发的程序来实现。

(5) 个性化的 Web 界面:包括业务访问入口、业务和服务配置入口以及系统管理入口。使得各种不同的客户可以以不同的形式访问系统,并可对系统进行相应的设置和配置。从实现的角度,这一层可基于 Portal 技术来构建,主要包括内容聚合、基于角色的视图定制、个性化、协作功能、支持不同的客户端 Web 浏览器、PDA 等。目前主要服务两类不同层次人员:一是铁道部或铁路局车辆部门的管理人员;二是具体的调度值班人员或者安监工作人员。

1.4 系统特点分析

近年来,在“提高运输安全保障能力,必须加快铁路信息化建设”的指导思想引领下,铁路各部门积极筹划各个专业行车安全监控系统的研究与开发工作。但

由于缺少统一规划,受业务管理条块分割和专业视角封闭内敛的局限,各子系统独自建设、彼此孤立。由此带来一系列问题:缺少统一标准和规范,彼此孤立、异构异构,信息不能共享,无法实现跨专业、跨系统的综合分析和决策支持功能,阻碍系统建设水平和质量的提升。本系统通过与已有的各监控子系统进行比较,具有以下几方面优点:

(1) 具有较强的实用性,能够有效集成大量异构的、不同学科的监控数据。而且具有较好的开放性,可以灵活接入新的监控数据源,或者与其他管理业务信息系统进行信息交互或共享,适应业务协同的发展需求。

(2) 铁路行车评价是协同建模和分析的过程,在执行中需要根据实验流程的运行情况做出动态修改。由于计算流程相对独立,本系统能够应对动态的逻辑处理过程,具有较好的柔性和扩展性。用户仅需改变相应流程结构或者参数即可,不需要任何开发人员介入。

(3) 本系统提供一个超级协同计算环境。铁路行车评价涉及到多个学科知识的融合应用,如外形、电气、控制等,越来越需要高性能计算环境。本系统核心基础是成熟的开源工具 Kepler,经过一系列大规模计算的实践验证,具有稳定性的保证,而且易于工程实践。

2 评价流程的构建

在铁路行车安全评价系统中,流程建立使用的是 Kepler 可视化建模工具。其中,一个工作流组件(Actor)代表一个分析过程或活动。如果一个 Actor 中包含其他 Actor,这样的层次结构被称为复合组件(Composite)。在 Actor 中获取数据 Token 的输入输出接口被称为端口(Port),数据 Token 是指被封装的一个或多个数据或信息。

由于复杂性高,目前很难直接建立整个列车系统的动态模型,所以无法采用动态模型的诊断方法。基于故障树方法的故障诊断一般用于当故障发生时来探究故障的原因。基于神经网络的故障诊断方法需要大量的故障样本数据对网络进行学习训练,而且很难对大型的建立合适的学习网络。另外,各信息源提供的信息都有一定程度的不确定性,对这些不确定信息的融合评价过程实质上是一个不确定性推理过程。而模糊综合评价模型正是将多种评价因素综合考虑,非常适合对列车系统故障的综合评价^[10-11]。

所谓模糊综合评价,是对具有多种属性的事物,或者说其总体优劣受多种因素影响的事物,做出能合理

综合这些属性或因素的总体评价。列车评价涉及的因素较多^[12],而且现有的评价指标通常是三层结构,也就是多级(三级)模糊综合评价。

根据多级模糊评价的原理,构建如图 5 所示的整体概念流程。首先,由各种监控系统采集实时数据,通

过专用网络进行数据整合。数据进入三级数据处理模块得出相应的隶属度矩阵。该隶属度与计算出的三级因素的权重合成后得到二级数据的隶属度矩阵,再与相应的二级因素对应的权重结合,最终根据最大隶属度法则,得出该列车对象的评价结果。

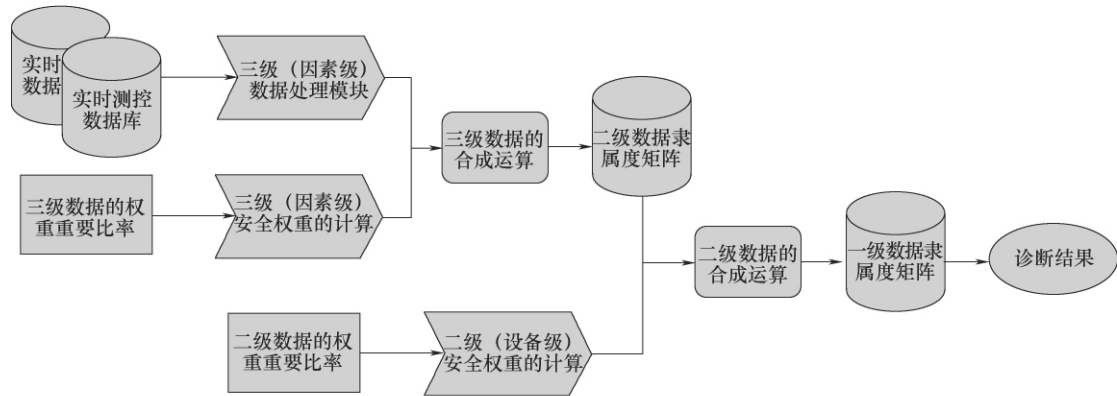


图 5 多级模糊评价的整体概念流程

根据图 5 中的概念流程,在 Kepler 平台上建立如图 6 所示的具体实施流程。这里的实施流程是多层嵌套的,其最上层流程的活动组件分别包括:三级因素的隶属度计算→三级因素权重的计算→二级因素权重的计算→三级数据合成运算→二级数据合成运算。由于三级和二级因素权重计算,以及三级和二级数据合成运算的计算流程大致类似,下面仅分别对三级因素的隶属度计算、三级因素权重的计算以及三级数据合成运算进行详细说明。

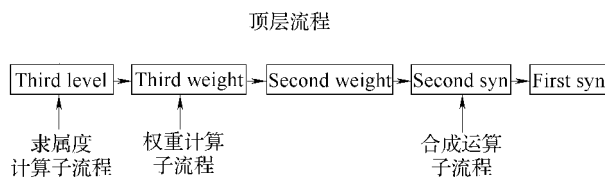


图 6 Kepler 中多个流程及其关系的示意图

(1) 隶属度计算的子流程

对于三级因素隶属度计算的实现,在能得出具体量化值的情况下,采用偏小型模糊分布中的降梯形分布函数,即

$$R(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} & a_1 < x \leq a_2, 0 \leq a_1 \leq a_2 \\ 0 & x \geq a_2 \end{cases}$$

(2) 权重计算的子流程

为了最大限度保持 Kepler 中流程的灵活性,采用动态的权重计算方法。也就是采用古林法,根据

专家设定的因素的重要比率(可以每次临时人工设定,也可固定从文件读入常量数值),从而得出定量的估算。

设 f_1, f_2, \dots, f_n 是 n 个因素, R_i 表示因素两两比较的重要性比率,这里 $1 \leq i \leq n$ 。设 K_i 表示因素的评价值,并规定第 n 个因素的评价值为 $K_n = 1$,其他因素评价的评价值 K_i 由以下公式求得: $K_{i-1} = R_{i-1} K_i$,其中 $1 \leq i \leq n$ 。最后进行归一化,得到的第三级因素权重 a_i 如下

$$a_i = \frac{K_i}{\sum_{j=1}^n K_j} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$$

(3) 合成运算的子流程

得到所有的权重矩阵后,可以按照所设级别进行合成算子的计算,得到二级评价因素的隶属度矩阵。现有的广义模糊合成运算“与”和“或”运算定义非常多。由于列车运行系统需要兼顾主要因素和次要因素的影响,故选用如下算子 $M(\wedge, \oplus)$:

假设 b_j 、 a_i 和 r_{ij} 分别表示评判结果、各因素的权重向量和隶属度向量,有

$$b_j = \oplus \sum_{i=1}^n a_i \wedge r_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, m$$

其中: \wedge 表示取小(\min)运算; \oplus 定义为 $\alpha \oplus \beta = \min(1, \alpha + \beta)$ 。

建立计算流程后,为便于流程的使用以及调用,将各个流程以 KAR 文件的形式存储。在其他用户需要的情况下,可以将 KAR 文件导入后进行使用。

3 应用验证

为了验证整个评价系统以及计算流程的有效性,本文选取某一试点的具体监控数据进行应用验证。

目前铁路行业每个地区所部署的列车各监控子系统不同,而且处于不断的建设过程中。为了简化讨论,而又不失普遍适应性,本文主要将列车上的 6 个设备子系统作为二级指标,包括: u_1 走行部子系统、 u_2 制动性能子系统、 u_3 车门系统、 u_4 超速防护子系统、 u_5 轴温及 u_6 车载电设备^[12]。因此,评价因素集 $u = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}$ 。这些指标都可分解为三级指标,从而进行细化,这里不再详述。对于如接触网、GSM-R 网络、列车内的火灾报警等其他子系统,同样可以纳入系统的计算流程,仅需通过数据接口将这些数据源接入,整个评价流程无需重新建立,仅做部分变动即可。

另一方面,结合铁路安全生产管理的实际情况,本文采用评价等级集 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ 表示列车的安全状态, v_1 为正常级别, v_2 为一般级别(3 级报警), v_3 为中等级别(2 级报警), v_4 为严重级别(1 级报警)。针对不同状态,管理者可以提出相应的处理应对办法。相关的研究工作参见文献[2,13]。如某一列车对象的安全性属于一般级别。此信息对于铁路安全管理人员非常具有借鉴价值。根据结果,列车可以减速谨慎行驶,但要前方车站的列检人员加强关注。

针对试点单位的多组真实监控数据,本系统对每个列车的动态数据进行实时分析计算,快速返回结果,并且系统的分析结果都与现实列车的安全状况相符,能够有效指导业务人员进行决策工作。这就有效证明:本系统能够及时、准确、全面地掌握列车安全生产状况,还可以为铁路安全管理决策和事故控制提供重要的科学依据,对铁路安全管理具有重要意义。

4 结束语

本文针对列车运行安全评价问题,提出基于科学工作流 Kepler 的评价系统架构和相应的建模分析方法,能够实现自动收集列车运行的实际监测数据,进行状态不良列车的综合评价与跟踪,将数据和计算过程灵活组合成一套可配置的、结构化的、自动化计算解决方案,实现安全预警,并为管理者提供辅助决策依据。

下一步我们将进行如下两方面的工作:

(1) 如何从大量的干扰信号(实际现场检测信号中多数情况均有干扰信号)中提取出有效的监控信息,这对于提高评价准确度至关重要。

(2) 将本文系统与已有的调度管理等业务系统进行有效集成,并在铁路行业内推广。

参考文献:

- [1] 贾利民. 高速铁路安全保障技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2010.
- [2] 中国铁道科学研究院电子计算技术研究所. 建立行车安全监控中心研究[R]. 北京:中国铁道科学研究院电子计算技术研究所,2008.
- [3] 鲍枫,唐祯敏. 铁路安全与人为失误问题的研究[J]. 中国安全科学学报,2003,13(10): 45-47.
BAO Feng, TANG Zhen-min. Discussion on Railway Traffic Safety and Man-made Error[J]. China Safety Science Journal, 2003, 13(10): 45-47.
- [4] 蔡国强,贾利民,吕晓艳,等. 基于决策树的轨道交通安全评估方法及其应用[J]. 自然科学进展, 2007, 17(11): 1538-1543.
- [5] 王卓,贾利民,秦勇,等. 铁路行车事故预测方法分析与比较[J]. 中国安全科学学报,2009,19(8): 34-39.
WANG Zhuo, JIA Li-min, QIN Yong, et al. Analysis and Comparison of Predication Methods for Railway Train Accidents[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(8): 34-39.
- [6] 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): 39-42.
ZHANG Wei-jiao, LIU Chun-huang, JIANG Hui, et al. Research on Comprehensive Monitoring and Control System of Train Operation Safety from View of Complexity [J]. Railway Transport and Economy, 2004, 26(9): 39-42.
- [7] LUDASCHER B, ALTINTAS I. Scientific Workflow Management and the Kepler System [J]. Concurrency and Computation Practice and Experience, 2005, 18(10): 1039-1065.
- [8] CUMMINGS J, PANKIN A, et al. Plasma Edge Kinetic-MHD Modeling in Tokamaks Using Kepler Workflow for Code Coupling, Data Management and Visualization [J]. Communications in Computational Physics, 2008, 4(3): 675-702.
- [9] BARSEGHIAN D, et al. Workflows and Extensions to the Kepler Scientific Workflow System to Support Environmental Sensor Data Access and Analysis [J]. Ecological Informatics, 2010, 5: 42-50.
- [10] 刘满敏,黄险峰. 基于层次分析法和模糊综合评价法的地铁供电系统安全性分析[J]. 城市轨道交通研究,2010,13(5): 46-53.
LIU Man-min, HUANG Xian-feng. Analysis of Metro Power System Safety Base on AHP and FCE[J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(5): 46-53.

- [11] 龙志强,蔡楹,徐昕. 基于分布估计算法的磁浮列车故障综合评价[J]. 控制与决策,2009,24(4):551-556.
LONG Zhi-qiang, CAI Ying, XU Xin. Comprehensive Fault Evaluation on Maglev Train Based on Estimation of Distribution Algorithms[J]. Control and Decision, 2009, 24(4):551-556.
- [12] 秦艳敏. 列车安全监测系统关键技术的研究[D]. 成都: 西南交通大学,2006.
- [13] 曹松. 铁路行车安全预警理论与方法研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院,2011.

(责任编辑 田 甜)

下 期 要 目

- 重载铁路列车运行调整计划的序优化策略研究
- 基于 RSM 的地铁车站集散能力仿真计算
- 基于计算机视觉的接触轨检测车振动补偿方法及应用
- 计及空气阻尼影响的接触线波动速度修正研究
- 一种重载组合列车的分布式协同控制方法
- FDD-LTE 系统低复杂度主同步检测算法
- 高速行车条件下桩板结构-地基土系统的空间振动性能分析
- 隧道围岩分级的遗传-支持向量分类耦合模型
- 椭圆孔口塑性区及其在岩溶隧道工程中的应用
- 不同断面悬浮隧道绕流特性分析