

基于 SSH 技术的地铁信号系统关键设备 使用寿命评估系统

阿力玛斯·伊力夏提^{1,2} 袁建军² 楚彭子^{1,2} 董丹阳^{1,2} 虞 翊²

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海;

2. 同济大学国家磁浮交通工程技术研究中心, 201804, 上海//第一作者, 硕士研究生)

摘 要 科学地评估设备全寿命周期, 要综合考虑设备的可靠性、经济性、技术性、折旧等因素。基于 SSH (Struts, Spring, Hibernate) 技术开发的地铁信号系统关键设备使用寿命评估系统, 解决了设备使用寿命评估中复杂信息的存储、多方数据的整合以及和专家进行信息交互等问题, 实现了对已投入运营并正常使用的系统设备的使用寿命进行具有安全和预判特征的有效评估。

关键词 地铁; 信号系统; 设备使用寿命评估; SSH 架构; 系统开发

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.023

SSH-based Life Span Evaluation System for Metro Signal System Key Equipment

YILIXIATI Alimasi, YUAN Jianjun, CHU Pengzi,
DONG Danyang, YU Yi

Abstract The reliability, economy, technology and depreciation of the equipment should be considered comprehensively in scientific assess of equipment full life cycle. Based on SSH (struts, spring and hibernate) technology, a life span evaluation system of metro signal system key equipment is developed. It solves the problems of storing complex information, integrating multi-party data and exchanging information with experts, thereforerealizes effective life span assessment of system equipment in operation and normal use with safe and predictive characteristics.

Key words metro; signal system; equipment life span evaluation; SSH architecture; system development

First-author's address State Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Tongji University, 201804, Shanghai, China

近年来轨道交通快速发展, 随着时间的推移, 目前有多条早期开通运营线路已进入或已超越大修期。机械类设备的使用寿命, 如道岔、车辆等已

有相关的标准, 并有了大量的相关研究以及状态监测系统^[1-3], 但是针对电子类或计算机类的设备或系统的使用寿命评估研究较少, 相关使用寿命评估系统的研究也较少。

设备寿命是指设备从投入生产开始, 直至在技术上或经济上不宜继续使用, 需要进行更新所经历的时间。目前, 涉及对设备寿命预测的系统有基于可靠性、可用性、可维护性和安全性 (RAMS) 的设备生命周期系统、故障预测与健康 (PHM) 系统以及企业资产管理 (EAM) 系统等。

国内对于基于 RAMS 的信号系统寿命评估也有研究。文献[4]就影响轨道交通系统 RAMS 的因素进行了分析。文献[5]就基于通信的列车自动控制 (CBTC) 系统建立科学规范的可靠性、可用性和可维护性 (RAM) 指标分析方法, 并进行计算验证。文献[6]列举几个系统构建的参考方案, 根据线路等级和环境, 介绍了评估方法。RAMS 贯穿产品整个生命周期, 应当作为重要的参数。但是对使用寿命的评估, 不仅要考虑设备管理的过程, 还要考虑价值变动的过程。因此, 科学地评估设备全寿命周期, 要综合考虑设备的可靠性、经济性、技术性、折旧等因素。

国外有成熟的 PHM 软件开发平台, 如 PHM DesignTM 平台、SureSense 平台、iTrend[®] 平台等, 但是其业务主要是面向航空以及船舶领域^[7]。文献[8]介绍的 EAM 系统, 设计了覆盖信号系统的分布式监控服务, 设备状态分析子系统以资产运行维护历史数据为基础。但是该方法只能大致判断设备故障的概率, 精度不高, 当一个设备发生故障的概率随时间变化较小时, 不能准确判断设备的状态; 同时, 轨道交通相关领域的专家经验对于设备状态的判断也有很好的指导作用, 应当充分利用。

本文介绍了基于 SSH (Struts, Spring, Hibernate) 技术开发的地铁信号系统关键设备使用寿命评估系统。该系统的目标是在确保安全运行的前提下,综合考虑技术、经济、管理和社会影响等多种要素,有效评估地铁信号系统关键设备的预期使用寿命。

1 评估系统介绍

1.1 评估系统算法简介

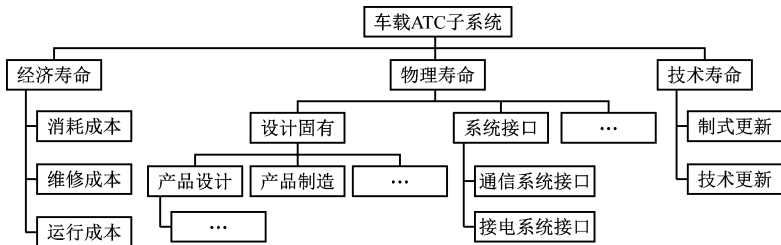
用于状态评价的研究方法较多,如贝叶斯推断法、层次分析法、模糊综合评价法、灰色综合评价法及综合集成评级方法等。设备使用寿命的评估系统,需综合考虑技术、经济、管理和社会影响等多种因素:首先,可基于层次分析法来确定评价指标的权重,从而确立设备评价状态时的重要指标;然后,基于模糊综合的评价方法,根据隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。通过基于模糊综合的评价方法,可使专家对某个设备的

具体影响因素指标给予优、良、中和差的定性指标,转化为对该设备状态的定量评价值。将 FCE(模糊综合评价法)和 AHP(层次分析法)相结合的评价方法,即 FAHP 评价法,在体系评价、效能评估和系统优化等方面有着广泛的应用,是一种定性与定量相结合的评价模型。文献[9-11]介绍了 FAHP 评价法分别在跨坐式单轨交通、地铁、轻轨和高铁信号领域,对设备状态和使用寿命进行评估的应用案例。

1.2 评估系统执行流程

地铁运营单位可充分利用评估系统来完善设备维修策略,过程中需要相关领域的专家提供经验支持。多专家的参与,以及完善的算法支持,可有效地展示设备的运行状态。该系统主要执行步骤如下:

步骤 1 确定评估对象的层次模型,即识别影响评估对象使用寿命的因素,并确定层次结构。如图 1 所示,选定的影响因素能形成某一设备的影响因素层次结构。



注:ATC——列车自动控制

图 1 影响因素层级结构示意图

步骤 2 确定影响因素的判断矩阵,进而根据层次分析法自顶向下计算影响因素的权重系数。

步骤 3 确定模糊评判矩阵,即对评估对象层次模型的叶元素分别赋予优、良、中、差的模糊状态。

步骤 4 设备状态预警,首先进行模糊评价计算,即根据模糊综合评价法自底向上计算评估对象的相对于优、良、中、差 4 种状态的隶属度,再将达到预警指标的设备给予显示。

1.3 评估系统的总体功能

按照系统的功能模块划分,该评估系统主要包括系统管理模块、用户管理模块、建立层次模型模块、专家打分模块、设备预警模块、综合查询模块等,如图 2 所示。

1) 用户管理模块。该模块主要实现对不同用户的管理,包含管理员管理和专家管理。用户管理

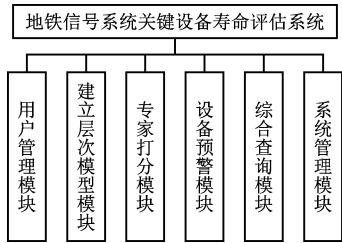


图 2 系统功能模块结构图

主要是对打分专家和地铁运营单位的用户进行管理。其中,对于专家用户,还需要区分确定影响因素的判断矩阵,以及确定模糊评判矩阵的用户权限,减少打分误操作而影响数据有效性。

2) 建立层次模型模块。该模块主要功能是建立评估对象影响因素的模型。由于轨道交通信号系统中一个子系统或者设备的寿命状态,受到多方面因素的考虑,如经济寿命、物理寿命和技术寿命

等,当任意指标达到不合格时都需要提出实际寿命将要结束的预警,同时这三大因素又有各自的制约因素。通过分析设备的影响因素及其相互关系,可建立设备寿命影响因素的层次模型。该模块具有对影响因素树节点的增、删、改、查等基本功能。

3) 专家打分模块。该模块主要的功能是通过专家打分的方法,确定影响因素的判断矩阵和模糊评判矩阵。前者是确定影响因素树上各个影响因素的权重,后者是对影响因素树叶元素的模糊状态评价,分别会给予优、良、中、差的评价。在确定影响因素判断矩阵时,考虑到设备可靠度的重要性,物理寿命中涉及的 RAMS 相关的影响因素应当给予较大的权重值。

4) 设备状态预警模块。该模块主要功能是结合信号系统设备综合寿命评价算法,依照影响因素树自下而上自动完成寿命状态的计算,根据评价结果进行分类,为地铁运营单位的用户提供决策支持^[10-11]。

5) 综合查询模块。该模块主要实现各类查询

统计报表,以各类图、表形式输出影响因素、判断矩阵、状态评价等计算分析结果。

6) 系统管理模块。该模块主要是完成对系统的参数设置和基础数据维护。

2 系统设计

2.1 系统架构设计

基于 SSH 架构的评估系统可以分为表示层、业务层和数据持久层。这三层都采用面向接口编程的方法,先写接口方法,再通过实现类重写方法具体实现任务,这满足开闭原则(Open Closed Principle)。表示层采用 bootstrap 框架、JQuery 并结合 Struts 的 OGNL 表达式来完成对用户的操作界面支持,使用 Struts 的监听器组件以及 Struts 的拦截器组件支持访问的控制;Spring 对业务逻辑层采用了 AOP(面向切面编程)技术和 IOC(控制反转)技术支持;Hibernate 采用对象关系映射框架,以及懒加载和抓取策略优化等,很好地实现了数据的持久化^[12-13],评估系统架构如图 3 所示。

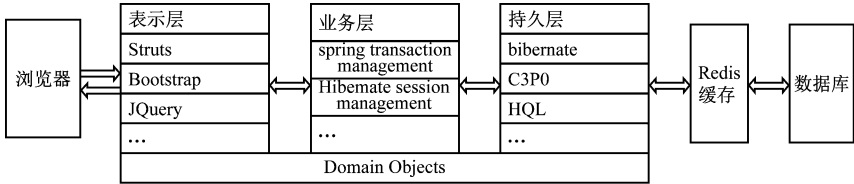


图 3 评估系统架构示意图

采用 SSH 架构的优点如下:

1) 典型的三层构架体现 MVC(模型-视图-控制器)思想,可以让开发人员减轻重新建立解决复杂问题方案的负担,便于敏捷开发出新的需求,降低开发时间成本。

2) 良好的可扩展性。SSH 主流技术有强大的用户社区支持,所以未来扩展性非常强,避免因技术问题而不能实现系统功能。

3) 良好的可维护性。业务层经常会有新需求,三层构架因为业务层和表现层的合理分离,可使需求修改的风险降到最低。随着新技术的流行或系统的老化,系统可能需要重构,采用该构架重构的成功率要比其他构架高很多。

4) 优秀的解耦性。基于 SSH 技术的三层构架,表示层依赖于业务层,但不与任何具体的业务层组件耦合,只与接口耦合。同样,业务层依赖于

持久层,也不会与具体的持久层组件耦合,而是面向接口编程。采用这种方式的软件实现,即使软件的部分发生改变,其他部分也不会改变。

2.2 数据库设计

以专家打分模块为例,首先建立评价准则,一个设备只能使用一个准则进行评价,但一项评价准则可能适用于多个设备。一项评价准则由诸多影响因素组成,影响因素之间相互有隶属关系,成为树状结构。一项评价准则可以进行多轮影响因素权重评价,用版本号记录每次权重计算过程。每次进行评价准则权重计算时,先由专家打分形成原始记录,经几何平均后形成打分表。打分表经计算后形成当前版本的评价准则权重表,如图 4 所示。TRULRecordO 表的作用是:用于新增、修改、删除评价准则原始打分表。由专家打分,作为评价准则权重打分的原始记录。

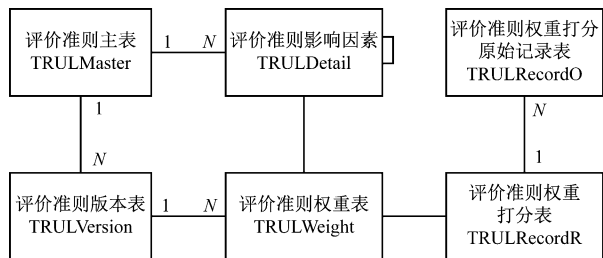


图4 模糊判断矩阵相关数据表

其次建立拟进行状态评价的对象,可以是一个系统或者某个设备,按照上下级关系构成树状结构。开展对象的寿命评价时,建立状态评价主表,一个对象可以进行多次状态评价,每次评价都要新生成一条状态评价主表的记录。状态评价主表的记录明确了待评价对象、所采用的评价准则及其版本。状态评价的优、良、中、差数值一般由专家打分获得,也可以由系统自动进行量化评价,由自动量化评价模块完成。专家打分或者系统自动量化评价后的分值,进行算术或几何平均预处理后,形成评价对象的叶元素评价价值,即叶元素的优、良、中、差值。叶元素的优、良、中、差值乘以该叶元素的分层权重,即可得到其对上层元素的优、良、中、差值的贡献,同层各元素的优、良、中、差值之和即为上层优、良、中、差值。由此自下向上计算,直到形成最上层因素的优、良、中、差值,就是评价对象的状态评价价值,图5为表结构。

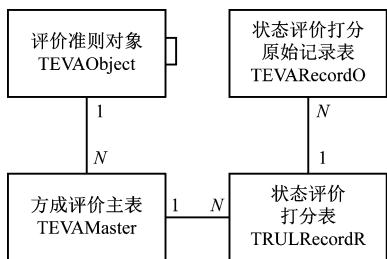


图5 状态评价相关数据表

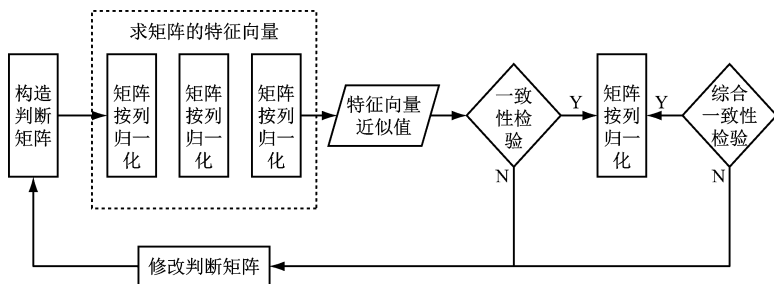


图7 判断矩阵的一致性检验

数据表 TEVARecordO 的作用是:新增、修改、删除评价状态评价打分的原始记录,由专家打分形成,针对状态评价主记录,得到各因素的优、良、中、差值。

3 系统实现

3.1 系统开发环境

系统开发在前端使用了 HTML、CSS、JavaScript 开发技术, Bootstrap 框架、JQuery 框架以及结合 Struts 框架支持的 OGNL 表达式。画图借助了百度开发的 Echarts^[14]。前端开发工具为 HBuilder。后端开发采用了 Java EE 技术, Struts2、Spring、Hibernate 框架和 eclipse 开发工具。由于该系统存在同时多人操作的可能,所以加入了 Redis 缓存技术来提高数据的读写效率,进而增加了系统的可靠性。

3.2 专家打分模块关键技术的实现

由于专家进入打分模块后,主要是填写影响因素的判断矩阵和确定叶元素的模糊状态,所以可以利用 Struts 提供的拦截器完成执行过程的优化。图6为 Action 执行命令与拦截器的关系。

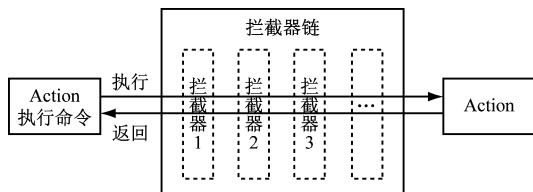


图6 Struts 拦截器示意图

此模块需要两个独立定义的拦截器的支持:专家权限拦截器,根据专家注册的用户信息,完成权限拦截,使只能填写影响因素判断矩阵的专家无法访问确定模糊状态的功能,在减少了误操作的同时使界面操作的逻辑更简单;数据检验拦截器,由于专家填写的判断矩阵需要经过一致性校验,该校验过程是基于层次分析法的权重计算流程,如图7所示。

层次分析法进行一致性检验时有和法、幂法、根法3种。该校验过程使用和法,通过校验的数据将通过 `invocation.invoke()` 方法执行之后的拦截器,实现了数据校验。

对于专家页面上填写的具体数据传输,可以通过 Ajax 异步通信和 Struts 技术支持的模型驱动来实现。在专家选择某个影响因素节点时,事件触发函数获取该节点的对象信息,在页面上则能根据之前封装的对象属性自动生成输入框,提示基因素和参考因素,提交按钮校验数据通过后,完成矩阵数据的输入。

3.3 设备预警模块关键技术的实现

在对某一设备完成评价后,可以通过程序画出该设备近几年状态趋势图,再通过对趋势图的观察与分析,可以对被评价设备的使用寿命状态给出预警或评判。如当趋势图中的“优”“良”曲线明显下降,并出现“优”曲线与“中”曲线交叉时,可以给出预警;当“良”曲线与“中”曲线交叉时,可以给出设备应考虑更换的建议,即该设备的使用寿命即将结束。但出现“良”曲线与“差”曲线交叉时,应强制进行设备更换,即强制终止该设备的使用寿命。

该模块主要利用 Hibernate 支持的离线查询技术,可以先设置多种的查询条件,构建游离态对象 `DetachedCriteria`,设置好查询条件后,再通过方法 `getExecutable()` 绑定当前的 Session 进行查询,即当需要找出某线路提示预警的设备时,选定选择条件中的线路,以及预警提示的程度(预警、更换、强制更换)进行查询。查询某一类型系统的设备状态时,也可以设置类型进行查询。通过离线查询可以不需要为每一种查询都编写查询语句,提高程序的开发效率。

3.4 平台实现效果

系统部分运行界面如图8和图9所示。专家勾选需要进行打分的影响因素节点,在输入框中会显示出基元素和比较元素,在对应输入框中输入比较值即可。完成输入后点击提交按钮,会进行一致性检验,以保证数据的有效性。

图9为进行综合查询时,对设备寿命曲线查询的结果,可以选择系统级对象或者系统的某个设备进行查看。由于每个查询对象都有自己的影响因素树,所以可再对查询对象的影响树的具体节点进行查询,即查看该对象经济寿命、物理寿命或者技术寿命状态。



图8 影响因素节点打分截图

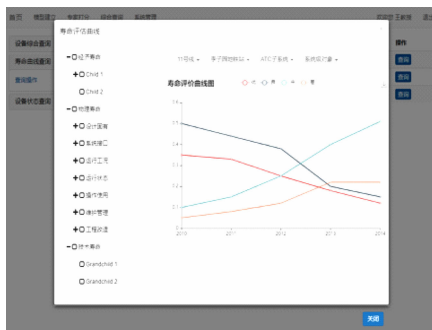


图9 设备寿命曲线图查询

4 结语

本文首先介绍了涉及地铁信号系统设备使用寿命的评估系统,对系统的各个功能模块进行了简要介绍,并对基于 SSH 技术的评估系统架构设计和实现过程给予详细说明。本研究开发的评估系统可以作为地铁信号系统设备使用寿命评估的辅助工具。

参考文献

- [1] 李铁群,张富春. 铁路道岔转换设备综合监测系统设计[J]. 铁道通信信号,2013(7):14.
- [2] 张华,孙洋. 道岔状态监测系统研究[J]. 铁道通信信号,2008(11):7.
- [3] ZHOU F, XIA L, DONG W, et al. Fault diagnosis of high-speed railway turnout based on support vector machine [C]// IEEE. Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). Taipei: IEEE, 2016: 16035652.
- [4] 孙思南,刘金叶. 轨道交通信号系统的可靠性、可用性、可维护性和安全性分析[J]. 城市轨道交通研究,2007(11):66.
- [5] 李高科,于鑫,吴卉. 城市轨道交通 CBTC 系统 RAM 指标评价方法研究[J]. 铁路计算机应用,2013(5):61.
- [6] 李婷. 基于 RAMS 理念的信号系统评估[J]. 铁路通信信号工程技术,2014(1):104.

(下转第 112 页)

除了第一次以外,采用后面两种策略,则会明显减少轮径切削量。如图 6 所示,混合镟修优化策略的平均切削量最小,其次是多模板选择镟修优化策略,而常规镟修策略的平均切削量最大。

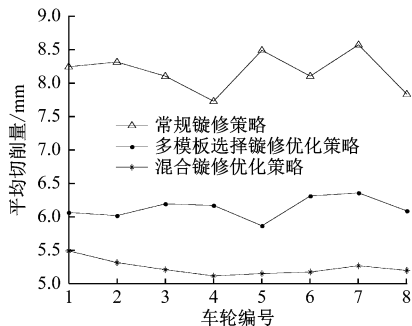


图 6 3 种策略下车轮平均镟修切削量对比

初步的测试采用的是两列列车,其不同镟修策略的轮对寿命为:按照常规策略进行镟修,列车轮对寿命为 138 万 km 左右;作为参照策略,列车轮对采用多模板选择镟修优化策略后,轮对寿命达到 162 万 km;而采用基于多目标选择混合镟修优化策略后,轮对寿命达到了 228 万 km,延长了近 90 万 km,延长轮对使用寿命达 65.2%,极大地降低了轮对的使用成本。

4 结语

本文首先建立单镟修周期内的轮对轮径值寿命预测模型,列车轮对由于轮径值限制,结合镟修周期数预测目前轮对全生命周期的寿命也即轮对运行公里数。对车辆轮对低成本运用优化策略进

行研究,针对轮对的低成本运用进行阐述,分析出轮对左右磨耗并不相同,从而提出轮对左右换向策略,可以实现延长单个镟修周期中轮对的使用寿命。根据采用不同的模板进行镟轮维修,轮对磨耗情况并不相同。基于此,本文提出基于多模板选择的混合镟轮维修优化策略,将轮对换向策略与多模板选择策略相结合。最后,对比分析基于多模板选择的混合镟轮维修优化策略与常规镟修策略,该策略可以在一定程度上延长轮对的寿命。

参考文献

- [1] PASCUAL F, MARCOS J A. Wheel wear management on high-speed passenger rail: a common playground for design and maintenance engineering in the Talgo engineering cycle[C]// IEEE. Rail Conference, Proceedings of the 2004 ASME/IEEE Joint. Baltimore; IEEE, 2004:193.
- [2] HONG X U. Modeling of metro wheel wear and optimization of the wheel re-profiling strategy based on Gaussian processes[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(24):88.
- [3] ZHU W, YANG D, GUO Z, et al. Data-driven wheel wear modeling and reprofiling strategy optimization for metro systems [C]//Transportation Research Board (TRB). TRB 94th Annual Meeting. Washington; TRB, 2015:67.
- [4] WANG W, CHENG M, HUA W, et al. Hybrid modeling and applications of virtual metro systems [C]//IEEE. 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Lille; IEEE, 2010:1.
- [5] 牛牧笛,冯其波,陈士谦. 列车轮对在线动态测量方法的评述[J]. 铁道机车车辆,2006(2):32.

(收稿日期:2019-06-23)

(上接第 107 页)

- [7] 刘恩朋,杨占才,靳小波. 国外故障预测与健康管理系统开发平台综述[J]. 测控技术,2014,33(9):1.
- [8] 宋宇博,董博. 城市轨道交通企业资产管理系统设计与应用[J]. 铁道运输与经济,2013(12):72.
- [9] 杜子学,金波,薛胜超. 基于模糊层次分析法的跨站式单轨交通设备模式安全评估研究[J]. 城市轨道交通研究,2015(4):19.
- [10] 虞翔. 城市轨道交通运营设备的寿命与安全评价方法[J]. 城市轨道交通研究,2014(2):148.
- [11] 李章杨,陆国政,虞翔,等. 高铁信号关键设备使用寿命评估

方法[J]. 铁道通信信号,2017(10):1.

- [12] 于湛麟,李仲秋,任永昌. SSH 框架实现 MVC 架构的电子商务软件平台[J]. 计算机技术与发展,2012,22(10):169.
- [13] 湛湘情,狄文辉,孙冬. 基于 SSH 框架与 AJAX 技术的 JavaWeb 应用开发[J]. 计算机工程与设计,2009,30(10):2590.
- [14] LI D, MEI H, SHEN Y, et al. ECharts: a declarative framework for rapid construction of web-based visualization [J]. Visual Informatics, 2018, 2(2):136.

(收稿日期:2019-01-31)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www.umt1998.com