

文章编号: 1005-8451 (2017) 01-0018-05

基于Testcase Designer的列车运行控制系统 测试方法的研究

陈黎洁¹, 孙超¹, 卢利勇¹, 贺红阳²

(1.中国铁道科学研究院 标准计量研究所, 北京 100081; 2.Multitel ASBL, Mons, Belgium, 7000)

摘要: 针对CTCS-3级列控系统的需求规范, 结合欧洲列车运行控制系统(ETCS)的测试经验, 研究基于Testcase Designer的CTCS-3级列控系统自动测试方法。Testcase Designer主要用于将测试案例模块化, 通过优化编写流程, 生成符合测试平台需求的测试序列, 为测试项目的执行提供必要的的关键数据点。同时, Testcase Designer可供存储、导出及发布。其测试案例中的关键输入输出接口(如BTM、TIU、RTM等)配置信息均已通过配置文件形式实现。以列控系统无线闭塞中心(RBC)切换场景为例, 采用Testcase Designer编写该场景的测试案例。研究结果表明: Testcase Designer实现了功能特征、参考需求、测试步骤等元素的集成, 编写的测试案例是合理的。

关键词: CTCS-3级列控系统; 测试案例; 运营场景; RBC切换

中图分类号: U284.482 : TP39 **文献标识码:** A

Test method of train control system based on Testcase Designer

CHEN Lijie¹, SUN Chao¹, LU Liyong¹, HE Hongyang²

(1. Standard & Measurement Research Institute, China Academy of Railway Science, Beijing 100081, China;
2.Multitel ASBL., Mons 7000, Belgium)

Abstract: Combining with the testing experiences of European Train Control System (ETCS) and aiming at the requirements specification of CTCS-3 level train control system, this article researched on the automatic testing method of CTCS-3 level train control system based on Testcase Designer. Testcase Designer is mainly applied in modularizing test case to optimize the writing process, form test sequence which could satisfy the requirement of test platform, provide key data points for the execution of test program. At the same time, Testcase Designer could be used for storage, exporting and publishing. The configuration information of key input/output interface in test case (e.g., BTM, TIU, RTM, etc.) were implemented through configuration file. The scenario of RBC handover was taken as an example to write the test case of this scenario with Testcase Designer. The research results showed that Testcase Designer integrated feature, reference requirements and test steps as well as the written test case were reasonable.

Keywords: CTCS-3 level train control system; test case; operational scenario; RBC handover

CTCS-3 级列车控制系统(简称: 列控系统)是典型的安全苛求系统。为了验证其行为功能的正确性, 并保证不同厂家设备的兼容性, 测试成为了必不可少的环节。传统测试方法以人工测试为主, 测试时间很长, 测试费用昂贵, 导致测试效率低, 并且在很多情况下无法满足测试的需求, 在这种背景下, 自动测试方法应运而生。

近年来, 自动生成可靠的测试案例, 提高人工

编写测试案例的效率, 缩短与自动化程度较高的测试执行过程的距离, 已经收到测试领域学者的广泛关注。

在列控系统测试方面, 测试案例编写工具 Testcase Designer 主要用于将测试案例模块化, 通过优化编写流程, 生成符合测试平台需求的测试序列, 为测试项目的执行提供必要的的关键数据点。同时, Testcase Designer 可供存储、导出及发布。其测试案例中的关键输入输出接口(如 BTM、TIU、RTM 等)配置信息均已通过配置文件形式实现。测试案例是测试序列的基础, 测试序列是测试案例的有序组合, 基于此, 采用半实物仿真的方法建立的 Multirailab

收稿日期: 2016-09-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1434209); 中国铁道科学研究院科研项目(1451ZJ0102); 中国铁道科学研究院科研项目(1551ZJ0804)。

作者简介: 陈黎洁, 助理研究员; 孙超, 助理研究员。

测试平台，通过将测试案例的有序组合实现测试序列生成和查看、测试管理和测试结果分析评估等功能，协助 ERTMS UNISIG 工作组参与编写和发布 ETCS 车载设备的部分测试文档 subset 076^[1-6]。

文章研究通用测试平台 Multirailab，结合 ETCS 系统测试经验和 CTCS-3 级列控系统特点，提出基于 Testcase Designer 的 CTCS-3 级列控系统测试案例编写方法，用 Testcase Designer 编写 RBC 切换场景的测试案例，研究结果表明，Testcase Designer 能够实现 CTCS-3 级列控系统功能的自动测试。

1 测试方法框架

对 CTCS-3 级需求规范编写测试案例的方法框架如图 1 所示，该方法分为以下 4 个步骤：

(1) 分析系统需求规范中哪些需求是可测的，将相同的设备规定的需求可以看作一类需求，例如，《CTCS-3 级列控系统需求规范》中 3.12.1.3.1、3.12.1.3.2、3.12.1.3.3 几节提出的需求就可以看做是针对 RBC 切换的需求，需求的具体内容详见文献 [7]。

(2) 按照设备的功能划分场景，例如：第 1 步中提到的几条需求都是针对无线闭塞中心（RBC）切换的，那么就可以看做 RBC 切换的运营场景。

(3) 根据运营场景就可以提取功能特征。生成测试案例的立足点是系统需求规范，文章参考 subset 076 提出功能特征这一术语，功能特征就是一组需求的集合，用功能特征可以使若干条需求对应一个测试案例，有效地减少了测试案例的数量。对应于运营场景。例如：RBC 切换场景就可以包含“只有一个无线电台可用情况下的 RBC 切换”和“两个无线电台均可用情况下的 RBC 切换”两条功能特征。

(4) 针对功能特征编写测试案例。一个功能特征可以包含一个或多个测试案例。例如，功能特征“只有一个无线电台可用情况下的 RBC 切换”至少包含以下两条测试案例：a. 车载设备从移交 RBC 处收到 RBC 切换预告。当列车的最大安全前端通过 RBC 切换点时，车载设备向移交 RBC 发送位置报告。在切换边界，列车经过包含立即执行切换命令的应答器组。当列车最小安全后端通过 RBC 切换位置时，车载设备向移交 RBC 发送位置报告。车载设备接收到

一个与移交 RBC 终止通信会话管理的命令。车载设备结束与移交 RBC 的无线通信会话管理后立即与接收 RBC 建立无线通信会话管理并发送列车参数。b. 车载设备从移交 RBC 处收到 RBC 切换预告。当列车的最大安全前端通过 RBC 切换点时，车载设备向移交 RBC 发送位置报告。在切换边界，列车没有收到包含立即执行切换命令的应答器组消息，但是仍执行 RBC 切换。当列车最小安全后端通过 RBC 切换位置时，车载设备向移交 RBC 发送位置报告。车载设备接收到一个与移交 RBC 终止无线通信会话管理的命令。车载设备结束与移交 RBC 的无线通信会话管理后立即与接收 RBC 建立无线通信会话管理并发送列车参数。这两条测试案例的区别在于列车在 RBC 切换边界是否收到包含立即执行切换命令的应答器组消息。

在测试案例编写完成后，还需要将若干测试案例按照一定的标准组成测试序列后才能执行测试。因此在测试案例生成后还需要根据实际系统运行情况将测试案例组成测试序列，由于本文的工作是测试案例的编写，因此，图 1 中测试案例编写后面的步骤将在后续工作中进行。

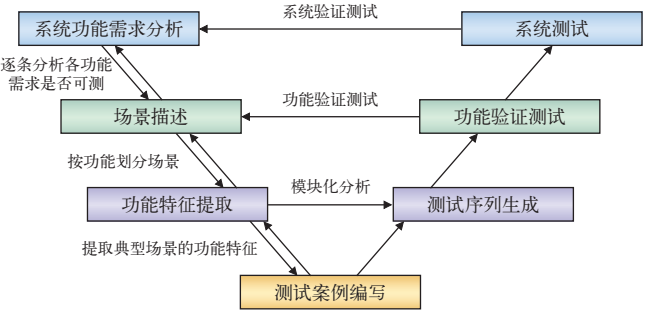


图1 基于Testcase Designer的场景测试方法框架

2 基于Testcase Designer的运营场景测试方法

CTCS-3 级列控系统需求规范是系统设计、研发、验证和测试等工作的基础，规范中对运营场景都是用文字进行描述的，这给系统的设计、研发、验证和测试人员带来了很大的不便，因为不同的人对规范中的文字有不同的理解。因此，对于测试人员来说，有必要将 CTCS-3 级列控系统需求规范中描述的场景用模块化的形式表现出来，自动生成需要测试案例。

一个完整的测试案例要包含参考的需求、功能

特征的描述、测试案例的名称,由于测试案例还要详细说明测试方法、测试步骤等,Testcase Designer 实现了测试功能特征、参考需求、测试步骤等元素的集成,那么将这些内容都写入 Testcase Designer 中,就可以生成构成一个完整的测试案例。

3 RBC切换场景测试

3.1 RBC切换相关定义

RBC 切换保证列车在通过相邻 RBC 边界时能够安全、顺利的通过,其过程的安全性、可靠性是十分重要的^[8],选用 RBC 切换场景作为实例,研究基于 Testcase Designer 的 RBC 切换场景测试方法。

RBC 切换就是列车从受“移交 RBC”控制转到受“接收 RBC”控制的过程场景,如图 2 所示。

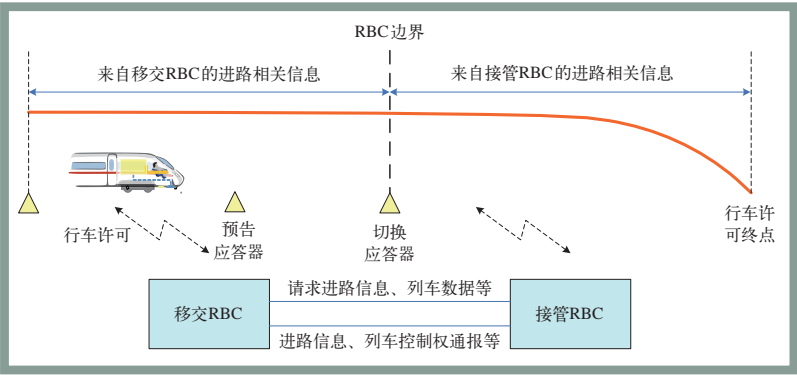


图2 RBC切换场景

对 RBC 切换场景的流程简要描述如下,流程图如图 3 所示。

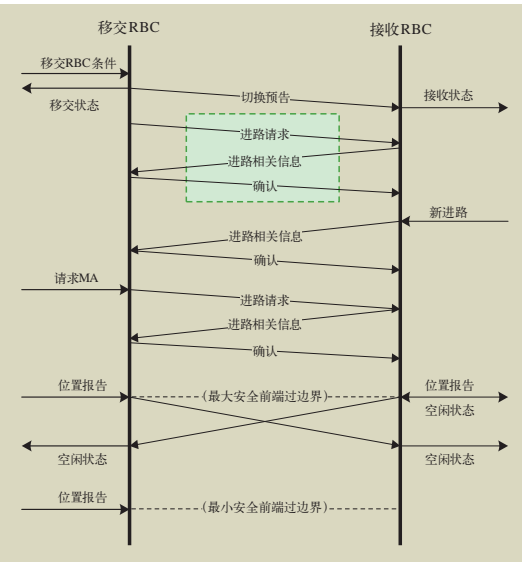


图3 RBC切换流程图

- (1) 列车从移交 RBC 接收到 RBC 切换预告；
- (2) 移交 RBC 生成的行车许可到达 RBC 边界,向接收 RBC 请求进路；
- (3) 进路包含边界点,接收 RBC 向移交 RBC 发送进路信息；
- (4) 车载与接收 RBC 建立通信会话；
- (5) 列车的最大安全前端通过 RBC 切换点,车载设备向移交 RBC 发送位置报告；
- (6) 接收 RBC 通知移交 RBC 已经接收列车的管辖权,移交 RBC 停止向列车发送进路信息；
- (7) 列车最小安全后端通过 RBC 切换位置,车载设备向移交 RBC 发送位置报告；
- (8) 车载设备与接收 RBC 建立无线通信会话管理并发送列车参数,切换完成。

3.2 编写基于Testcase Designer的RBC切换场景测试案例

本文选用“只有一个无线电台可用情况下的 RBC 切换”作为功能特征,以上面提到的第 1 个测试案例为例。车载设备从移交 RBC 处收到 RBC 切换预告。当列车的最大安全前端通过 RBC 切换点时,车载设备向移交 RBC 发送位置报告。在切换边界,列车经过包含立即执行切换命令的应答器组。当列车最小安全后端通过 RBC 切换位置时,车载设备向移交 RBC 发送位置报告。车载设备接收到一个与移交 RBC 终止通信会话管理的命令。车载设备结束与移交 RBC 的无线通信会话管理后立即与接收 RBC 建立无线通信会话管理并发送列车参数。

根据 RBC 切换流程,测试步骤可以设计为：

- (1) 从移交 RBC 接收包含 RBC 切换预告的无线消息；
- (2) 记录包含 RBC 切换预告的无线消息；
- (3) 当列车最大安全前端通过 RBC 切换位置,向移交 RBC 发送列车位置报告；
- (4) 记录列车位置报告；
- (5) 列车通过包含立即转换命令的应答器组；
- (6) 记录包含立即转换命令的应答器组消息；
- (7) 当列车最小安全后端通过 RBC 切换位置,

向移交 RBC 发送列车位置报告；

- (8) 记录列车位置报告；
- (9) 根据 RBC 命令终止与 RBC 无线通信会话；
- (10) 向接收 RBC 发送连接请求；
- (11) 从 RBC 接收到无线连接指示；
- (12) 向 RBC 发送通信会话开始；
- (13) 记录通信会话开始；
- (14) 从 RBC 接收系统版本信息；
- (15) 记录系统版本信息；
- (16) 向接收 RBC 发送通信会话已建立；
- (17) 记录通信会话已建立；
- (18) 向接收 RBC 发送经过确认的列车数据；
- (19) 记录经过确认的列车数据；
- (20) 接收来自接收 RBC 的列车数据确认；
- (21) 记录列车数据确认。

用 Testcase Designer 编写测试案例，编写界面如图 4 所示，生成的脚本文件定义如下：

功能特征：只有1个电台可用情况下的RBC切换

测试案例：车载设备从移交RBC处收到RBC切换预告。当列车的最大安全前端通过RBC切换点时，车载设备向移交RBC发送位置报告...

测试步骤：
1. 从移交RBC接收包含RBC切换预告(信息包131的无线消息)；
...
n. 当列车最小安全后端位置=LRBG+D_RBCTR时，向移交RBC发送无线消息136(列车位置报告)
...
m. 向接收RBC发送无线消息129(经过确认的列车数据)

参考需求：3.12.1.3.1、3.12.1.3.2、3.12.1.3.3

图4 Testcase Designer编写测试案例界面

```
<Feature title="RBC hando-ver with one mobile available."> / 功能特征名称 /  
...  
<subset_references>/ 参考需求 /  
<subset_reference>TJDW113 | 3.12.1.3.1|all</subset_reference>  
<subset_reference>TJDW113 | 3.12.1.3.3|all</subset_reference>  
...  
<TestCases> / 测试案例名称 /
```

```
<TestCase title="The on-board receives an announcement of the RBC transition from the Handing Over RBC. It sends a position report to the Handing Over RBC when the maximum safe front end of the train passes the location of the RBC transition. At the transition border, it passes a balise group containing an order to execute the handover immediately. ..." >  
...  
<steps> / 测试步骤 /  
<step comments = "D_RBCTR ≠ 0; The radio message contains a movement authority including the RBC transition border." number = "1">  
<description = "SA-DATA.Indication with Euro-radio Message "Movement Authority" (NID_MESSAGE=3) containing packet 131 is received" />  
<step comments = "" number = "2">  
<description = "MESSAGE FROM RBC (NID_MESSAGE = 9): RBC
```

message (NID_MESSAGE =3) containing packet 15, packet 131 is recorded" />
<step comments = "Train maximum safe front end location = LRBG + D_RBCTR; The maximum safe front end of the train passes the location of the RBC transition" number = "3">
<description = "SA-DATA. Request with Euro-radio Message "Train Position Report" (NID_MESSAGE=136) is transmitted" />

"Train Position Report" (NID_MESSAGE=136) is transmitted" />

从 Testcase Designer 的运行结果看，生成的测试案例是符合预期的。

4 结束语

在基于 Testcase Designer 集成测试案例的功能特征、参考需求、案例内容、测试步骤等元素的基

基础上,提出一套以CTCS-3级列控系统功能需求规范为基础,划分CTCS-3级列控系统的运营场景,提取出功能特征,用Testcase Designer编写出包含这些内容的测试案例的方法,并以RBC切换场景为例进行了举例分析,生成的结果符合预期。通过这套方法,有效证明了基于Testcase Designer的测试方法的合理性和可行性。

参考文献:

- [1] ERTMS / UNISIG: SUBSET026-3, System Requirements Specification, 1-103, February, 2012 [EB/OL].[2012-02-28]. <http://www.era.europa.eu/core/ertms/Pages/Approved Documents List of informative specifications.aspx>.
- [2] ERTMS / UNISIG: SUBSET076-2, Methodology to prepare features, 1 – 16, February, 2012 [EB/OL].[2012-02-28]. <http://www.era.europa.eu/core/ertms/Pages/Approved Documents List of informative specifications.aspx>.
- [3] ERTMS / UNISIG: SUBSET076 - 3, Methodology of testing, 1-20, February, 2012. [EB/OL].[2012-02-28]. <http://www.era.europa.eu/core/ertms/Pages/Approved Documents List of informative specifications.aspx>.
- [4] ERTMS / UNISIG: SUBSET076-4-1, Test sequence generation: Methodology and Rules, 1 – 34, February, 2012 [EB/OL].[2012-02-28]. <http://www.era.europa.eu/core/ertms/Pages/Approved Documents List of informative specifications.aspx>.
- [5] ERTMS / UNISIG: SUBSET076-7, Test Sequences Validation and Evaluation, 1-13, February, 2012 [EB/OL]. [2012-02-28]. <http://www.era.europa.eu/core/ertms/Pages/Approved Documents List of informative specifications.aspx>.
- [6] ERTMS / UNISIG: SUBSET094, Functional requirements for an on-board reference test facility, 1-65, May, 2014 [EB/OL].[2012-05-30]. <http://www.era.europa.eu/core/ertms/Pages/Approved Documents List of informative specifications.aspx>.
- [7] 中华人民共和国铁道部科学技术司, 中华人民共和国铁道部运输局. CTCS-3级列控系统需求规范 (v1.0): 科技运[2008]127号[S]. 北京: 中华人民共和国铁道部科学技术司, 中华人民共和国铁道部运输局, 2008, 8.
- [8] 牛儒, 曹源, 唐涛. ETCS-2级列控系统RBC交接协议的形式化分析[J]. 铁道学报, 2009, 31(4): 52-58.

责任编辑 徐侃春

(上接 P10)

5 结束语

分析影响计算机联锁系统使用寿命的主要因素,根据系统的硬件结构进行故障树分析,得到以板级故障为底事件的系统故障树模型,给出了最小割集;对故障数据从指数分布、正态分布和威布尔分布3个方面进行统计规律分析,使预测结果更加贴近实际;最后,以我国铁路具有代表性的A/B型计算机联锁系统为例,验证了该方法的可行性,结果表明,现阶段我国计算机联锁系统的服役年限尚有一定潜力可挖。本文提出的计算机联锁系统寿命预测方法具有一定的实用价值,可为我国铁路信号设备的运维管理提供借鉴。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国铁道部. 铁路信号维护规则技术标准: 铁运142号[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2008: 41-67.
- [2] PAQUET M, GATLIN P, Cote S M. Usage Monitoring-A milestone in engine life management[C]. AIAA, SAE, ASME, and ASEE, Joint Propulsion Conference 21st. Monterey, CA. 1985, 8(10): 1-7.
- [3] Nozhnitsky Y A, Doulnev R A, Egorov I V, et al. Evolution of aviation engine life management in CIS[M]. Moscow, Russia: Central Institute of Aviation Motors, 2000: 1-25.
- [4] 吴学亮, 叶新农. 军用航空发动机寿命控制方法[J]. 航空科学技术, 1996(5): 19-22.
- [5] Bolotin V V. Prediction of service life for machines and structures[M]. [S.l.]: Amer Society of Mechanical. 1988.
- [6] EN50129 C. Railway applications-Communication, signalling and processing systems-Safety related electronic systems for signalings[S]. British Standards Institution, United Kingdom. ISBN, 2003: 0580-4181.
- [7] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 设备可靠性试验可靠性测定试验的点估计和区间估计方法: GB5080.4-19585[S]. 北京: 中国标准出版社, 1985: 2-6.
- [8] SPECS U. Military Handbook Reliability Prediction of Electronic Equipment[M]. MIL-HDBK-217F, 1992.
- [9] 国家铁路局. 铁路车站计算机联锁技术条件: TB/T3027-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015, 6.

责任编辑 徐侃春