

文章编号: 1005-8451 (2021) 01-0072-05

# 基于场景模拟的地铁 ATS 软件自动化测试系统

黄晓帆, 欧阳敏

(卡斯柯信号有限公司 测试部, 上海 200071)

**摘要:** 为适应快速交付可靠的地铁 ATS 软件产品的要求, 开发了基于场景模拟的地铁 ATS 软件自动化测试系统。介绍系统构成、主要功能设计、测试环境部署与配置、测试用例设计及测试流程。测试系统由被测对象服务器、模拟集成服务器和测试管理服务器构成, 将 ATS 系统内部环境的模拟与 ATS 系统外部环境的模拟分离, 可降低 ATS 软件仿真测试系统的复杂度。利用虚拟机技术搭建模拟测试环境, 设计基于场景模拟的测试用例, 将被测试的 ATS 软件功能项与运营场景结合, 使用基于一个场景模拟的测试用例即可验证多个功能项组合的正确性; 通过不断优化和积累复用基于场景模拟的测试用例, 可显著提高 ATS 软件的测试效率; 此外, 测试系统可自动生成测试报告。以上海地铁 1 号线信号系统升级项目为例, 详细描述该项目中 ATS 软件的自动化测试过程。

**关键词:** 地铁; ATS 软件; 自动化测试系统; 测试用例设计; 场景模拟

**中图分类号:** U231.7 : TP39 **文献标识码:** A

## Automated testing system for metro ATS software based on scenario simulation

HUANG Xiaofan, OUYANG Min

( Testing Department, CASCO Signal Ltd., Shanghai 200071, China )

**Abstract:** To meet the need of fast delivery of reliable ATS software products for metro, an automated testing system for metro ATS software based scenario simulation was developed and the composition, main function design, testing environment deployment and configuration of the system are introduced together with test case design and testing process. The testing system is composed of a tested object server, a simulation integration server and a testing management server. By separating the simulation of the internal and external environment of ATS system, the complexity of the ATS software simulation test system can be reduced. The simulated testing environment is set up using virtual machine technology and test cases are designed based on scenario simulation according to the combination of ATS software function items with operational scenarios. So, the combination of multiple function items can be verified by using test cases based on one single scenario simulation. The testing efficiency of ATS software can be significantly improved by continuous optimization and reuse of accumulated test cases based on scenario simulation. In addition, the test report can also be generated automatically by the system. The process of automated test on ATS software is described in details by taking the project of upgrading the signaling system of Shanghai Metro Line 1 as an example.

**Keywords:** metro; ATS software; automated test system; test case design; scenario simulation

城市轨道交通信号系统主要包括车载控制器 (CC, Carbone Controller)、区域控制器 (ZC, Zone Controller)、线路控制器 (LC, Line Controller)、计算机联锁 (CI, Computer Interlocking) 系统和自动列车监控 (ATS, Automatic Train Supervision) 系统。其中, ATS 系统主要提供列车运行监督和控制的自

收稿日期: 2020-01-08

基金项目: 卡斯柯信号有限公司研发项目 (RBF0119017)

作者简介: 黄晓帆, 工程师; 欧阳敏, 工程师。

动化行车调度指挥功能<sup>[1-3]</sup>。随着城市轨道交通建设的不断发展, 地铁运营自动化程度不断提高, 地铁列车运营管理日趋复杂, 原先由司机执行的许多工作转变为由自动化系统和中心调度员联合完成, ATS 系统涉及的运营场景更加复杂<sup>[4]</sup>。为此, 对 ATS 软件的测试要求更高, 有必要研究和开发 ATS 软件的自动化测试系统, 实现对多场景、多功能的测试覆盖, 支持迭代开发的自动化回归测试, 有效发现软件中存在的缺陷, 降低测试人员工作强度。

常见的软件动态测试方法分为 2 类：白盒测试和黑盒测试。白盒测试又称为结构测试，需要了解程序内部结构，据此设计测试用例<sup>[5]</sup>。黑盒测试又称为功能测试，测试人员无需了解程序内部结构，重点关注系统功能是否满足用户要求。目前，虽有不少成熟的商用自动化测试工具，如 LR ( LoadRunner ) 和 QTP ( QuickTest Professional ) 等，但这些工具不满足实时性要求，且不支持专用协议，多适用于单一类型测试等<sup>[6-7]</sup>，不适用于具有复杂专用接口和业务流程的轨道交通信号系统的测试。

在分析 ATS 系统相关接口、系统构成和主要功能的基础上，提出 ATS 软件自动化测试系统（简称：测试系统）方案，利用虚拟机技术搭建了 ATS 系统模拟测试环境，设计基于场景模拟的测试用例，验证 ATS 组合功能的正确性，以快速交付可靠的 ATS 软件产品。

## 1 ATS 系统测试要求

### 1.1 系统相关接口

ATS 系统自身功能的实现建立在通过接口与相关系统进行通信和信息交互的基础上，其接口包括 2 类：

(1) 与信号系统内部的其它子系统的接口，包括 CI、CC、ZC、LC；

(2) 与信号系统之外的其它系统的接口，包括综合监控系统 ( ISCS, Integrated Supervisory Control System )、时钟系统 ( CLOCK, Clock System )、旅客信息系统 ( PIS, Passenger Information Service System )、广播系统 ( PA, Public Address System )、牵引供电系统 ( SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition System )、发车表示器 ( TDT, Train Depart Timer ) 等。

### 1.2 ATS 系统构成及主要功能

ATS 系统主要由工作站、应用服务器、通信前置机、网关服务器、车站服务器、在线时刻表等组成。

工作站通常设置 2 个或 3 个屏幕的窗口，其中，1 个为运行图显示窗口，主要用于显示计划运行图，提供运行图修改、打印等操作界面；另外 1 个或 2 个

为站场图显示窗口，主要用于显示站场设备状态、时间、报警，提供权限管理、列车运行控制、车辆管理、报警管理、报表等操作的人机交互界面<sup>[8]</sup>。

应用服务器作为 ATS 系统的数据处理中枢，向工作站发送站场图显示数据、告警、列车状态信息，处理调度人员、维护人员、派班人员的各种操作请求，并将请求发送给相关系统执行；保存系统日常运行的各种数据，提供事后分析和回放。

通信前置机负责 ATS 系统与信号系统之外其它系统的通信；根据项目的不同要求，实现 ATS 与 PIS、ISCS、PA、CLOCK 等的接口，以及与其它线路的接口<sup>[9]</sup>。

网关服务器为 ATS 系统的关键核心模块，负责与 ATC 接口，完成与 CC、ZC 和 LC 子系统通信，提供会话管理、临时限速管理、计轴有效性确认、列车控制命令管理、列车告警管理、列车连挂管理等。

车站服务器为 ATS 系统的集中站数据处理中枢，完成与 CI 和 TDT 系统的通信，本集中站内列车追踪和计划调整；自动办理进路。若 ATS 接入车辆段，还可提供自动洗车和自动出入库控制功能。

在线时刻表主要用于日常运营过程中当天计划图、当天实际图、历史计划图、基本计划图、预测计划图的显示，提供增加列车、删除列车、变更列车运行车次等时刻表在线调整的操作界面。

## 2 基于场景模拟的 ATS 软件自动化测试系统

### 2.1 系统构成

场景是指由事件触发形成相应的流程，进而形成一系列事件的结果，通常用于描述软件使用过程中的基本流程和功能需求。基于场景的测试方法从最终用户的角度来测试软件是否满足用户需求，针对软件中所有可能出现的业务流程，重点关注测试场景中各个功能项是否能够满足需求且正确执行。

在轨道交通信号领域，相对于 CI、CC、ZC、LC，ATS 系统直接面向地铁运营管理人员。面对日益复杂的运营场景，用户需求变化更为频繁。ATS 系统的软件测试不仅要求验证 ATS 软件单个功能项的正确性，还需要考虑地铁运营场景和用户使用习

惯，验证 ATS 软件多个功能项组合的正确性，对测试资源和效率的要求更高，亟需借助自动化测试代替部分手工测试，以提高测试效率。

如图 1 所示，基于场景模拟的 ATS 软件自动化测试系统由被测对象服务器、模拟集成服务器、测试管理服务器 3 台服务器组成。

被测对象服务器上运行被测试的 ATS 系统的软件，即需要被验证的软件。模拟集成服务器运行除 ATS 系统之外的其它仿真软件，提供 ATS 软件模拟运行所需的外部接口条件。测试管理服务器主要完成测试场景的编辑，启动测试流程，调用被测对象服务器和模拟集成服务器执行和终止测试，自动生成测试报告。

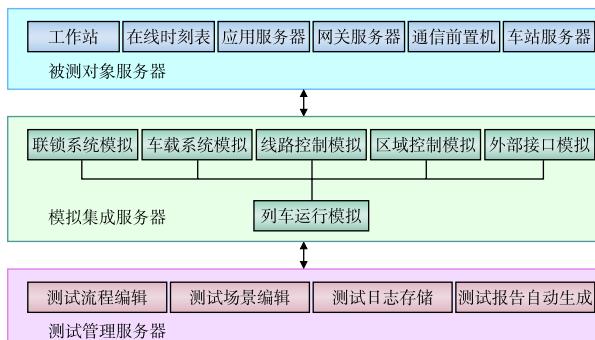


图1 基于场景模拟的 ATS 软件自动化测试系统构成示意

## 2.2 被测对象服务器

被测对象服务器采用虚拟机技术，提供运行被验证的 ATS 软件所需的操作系统（Windows server 2012、Windows 10 或 Redhat Linux7.2）环境，以模拟运行 ATS 工作站、在线时刻表、应用服务器、车站服务器、通信前置机和网关服务器等 ATS 软件，测试应覆盖 ATS 系统所有操作，包括运行图编辑下发、站场控制、用户管理、列车运行控制、临时限速管理、自动排路、人工排路等<sup>[10]</sup>。

## 2.3 模拟集成服务器

模拟集成服务器运行模拟 ATS 系统外部环境的仿真程序，包括与信号系统内部其它子系统或设备（CI 系统、CC、ZC、LC）接口的仿真程序，以及与信号系统之外的其它系统（SCADA、ISCS、CLOCK、PIS、PA）接口的仿真程序。对 ATS 系统外部环境的模拟并不模拟相关子系统或设备/系统功

能，仅按照 ATS 系统与这些子系统或设备/系统的接口协议中规定的消息格式和内容，实时地向被测试的 ATS 系统发送消息，为被测试的 ATS 系统提供与真实的列车运行环境一致的运行条件。例如，可使列车按照 CI 模拟产生的信号开放信息，沿着进路锁闭方向前行，自动产生符合信号规则的红光带移动信息，按照指定的速度运行，以支持 ATS 软件的测试。

除了可模拟真实的列车运行环境，测试系统还支持 2 类故障注入：（1）信号设备故障，包括道岔失表、灯丝断丝、区间红光带；（2）信号系统各个子系统或设备间的通信异常，包括时序错误和通信内容错误。

## 2.4 测试管理服务器

测试管理服务器运行测试系统自身的软件，用于控制测试过程，实施测试管理，主要包括测试流程编辑、测试场景编辑、测试日志分析、测试报告自动生成 4 个模块。

### 2.4.1 测试流程编辑模块

该模块主要用于定义自动化测试的基本流程，如图 2 所示，同时存储测试所需要的软件、配置数据以及测试使用的工具（测试环境自动部署工具、通信信息网络封包分析工具等）。

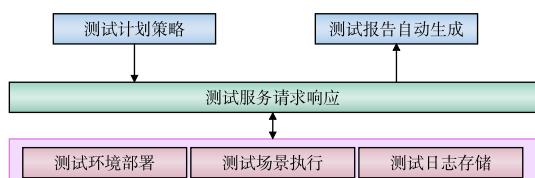


图2 自动化测试基本流程

当该模块收到测试场景编辑模块发送的测试服务请求之后，按照收到的软件版本和配置数据版本，启动自动部署工具，远程部署被测对象服务器上的 ATS 系统测试环境，模拟集成服务器上 ATS 接口系统的仿真环境。在测试执行阶段，该模块调用模拟集成服务器模拟 ATS 系统外部环境，配合被测 ATS 系统软件的测试场景执行；同时，该模块记录测试过程中 ATS 界面上所有的控件状态，ATS 与其它子系统/外部系统的所有接口通信信息内容，并将其存储在测试日志存储模块中，供测试报告自动生成模

块调用。

#### 2.4.2 测试场景编辑模块

该模块主要用于测试计划策略的编辑、查看和管理，设置被测试的软件版本和配置数据版本，存储为每个测试场景设计的测试用例脚本，存储各个测试场景预期测试结果，包括控件状态及对应的接口通信信息。

#### 2.4.3 测试日志存储模块

该模块主要用于存储被测对象服务器上 ATS 界面所有的控件状态、ATS 系统各软件模块的运行日志、以及模拟集成服务器上运行的 ATS 外部环境的模拟生成的所有接口通信信息，并根据预定义的接口通信信息解析脚本，自动解析通信信息包中各个字段的内容。

#### 2.4.4 测试报告自动生成模块

该模块将测试日志存储模块中存储的测试执行产生的接口通信信息内容和 ATS 界面上的控件状态，与测试场景编辑模块中的存储的预期结果对应的控件状态和接口通信信息内容进行比较。如果两者一致，则判断本测试场景通过测试；如果两者不一致，则判断本测试场景未通过测试。

测试系统根据测试用例脚本自动执行测试过程，全部测试用例脚本执行完成后，能自动生成测试报告，可极大提高测试人员的工作效率，使测试人员将精力集中于测试场景的设计。

### 3 测试实例

以上海地铁 1 号线信号系统升级项目中 ATS 软件测试为例，编辑多辆列车运行计划，仿真列车自动按照计划模拟运行，描述其自动化测试过程。

(1) 在被测对象服务器上，存储 ATS 软件、网络配置、数据文件；在模拟集成服务器上存放 CI 系统仿真、CC 仿真、ZC 仿真、LC 仿真设备软件及数据。

(2) 运行测试环境自动部署工具，分别远程安装被测对象服务器和模拟集成服务器上的 ATS 系统内部测试环境和 ATS 系统外部环境。

(3) 测试人员编写列车运行计划脚本，如图 3 所示，测试场景中设置 5 列列车按 3 min 发车间隔，

从转换轨所在站台出发；命名为 sched0.dat 放置在测试管理服务器上。

```
* sched0.dat
ROUTE=9,DEP=8,PLAT1=2,DES=4,PLAT2=4
DEPART=10:10:26,TRAIN=101,RUNTIME=13,FLAG=2
DEPART=10:13:26,TRAIN=102,RUNTIME=13,FLAG=2
DEPART=10:16:26,TRAIN=103,RUNTIME=13,FLAG=2
DEPART=10:19:26,TRAIN=104,RUNTIME=13,FLAG=2
DEPART=10:22:26,TRAIN=105,RUNTIME=13,FLAG=2
```

图3 列车运行计划脚本示例

(4) 测试人员在测试模拟集成服务器上配置转换轨所在站台的位置信息：集中站号、站台号、方向等，如图 4 所示。其它配置信息，如图 5 所示。

```
departre:
# 莘庄站
- { re: "DEP=8,PLAT1=2", block: "106", direction: "Down"}
```

图4 转换轨位置信息配置示例

```
datafiles:
syadsr: "/setting/extends/data/SR1_SyDB_v0.0.2.xml"
hostpath: "/setting/extends/data/hdw"
ataplopath: "/setting/extends/data/plan"
latconf: "/setting/extends/data/lat"
planlevelpath: "/setting/extends/data/planlevel"
# signalisation_Areas is in syadsr
stations:
- { name: "SBS", cid: 41076, signalisation_Areas: "SIA_CBI_16", hdw: "SBS.HDW", des: 12 }
- { name: "SSRS", cid: 41082, signalisation_Areas: "SIA_CBI_05", hdw: "SSRS.HDW", des: 1 }
- { name: "SNXL", cid: 41079, signalisation_Areas: "SIA_CBI_11", hdw: "SNX.HDW", des: 1 }
- { name: "XJH", cid: 41078, signalisation_Areas: "SIA_CBI_08", hdw: "XJH.HDW", des: 4 }
- { name: "JYB", cid: 41080, signalisation_Areas: "SIA_CBI_04", hdw: "JYB.HDW", des: 21 }
- { name: "XZS", cid: 41081, signalisation_Areas: "SIA_CBI_01", hdw: "XZS.HDW", des: 21 }
- { name: "SSRS", cid: 41082, signalisation_Areas: "SIA_CBI_05", hdw: "SSRS.HDW", des: 1 }
#初始化车站码位
initRelayType:
- { name: "POFA-DI", value: 1}
- { name: "SSCDR-DI", value: 1}
- { name: "JGBJ-DI", value: 1}
- { name: "2FJD-DI", value: 1}
- { name: "FFJD-DI", value: 1}
- { name: "XC-LXJ-DI", value: 0}
- { name: "DWTB-DI", value: 0}
- { name: "DGTB-DI", value: 0}
- { name: "DGJ-DI", value: 1}
- { name: "DBJ-DI", value: 1}
- { name: "FBJ-DI", value: 0}
trainSetting:
#cm
length: 11800
#加速度停靠周期,若收到发车命令则立即发车
firstStopTime: 60
#默认车速
defaultSpeed: 45
#默认停站周期
defaultInPlatform: 30
```

图5 其它配置信息示例

(5) 运行测试用例脚本命令；当测试系统时间到达列车计划中设置的出发时间时，CC 模拟会依次加车到转换轨所在站台，模拟限制人工驾驶模式 (RM, Restricted Mode) 驾驶列车精确停靠站台，接收运行计划后，进入正线模拟运行。在列车模拟运行过程中，测试系统记录并存储 ATS 系统日志，如图 6 所示。与预期结果进行比较，自动生成测试报告。

```
2020/11/18 10:20:38 [ARS] set route:rui4/routeY4-1A-XB-LA
2020/11/18 10:20:38 [Train] Update train info near platform win handle 14<--15 train_group_id=106 <--102 train_des=04 <--04 in train list
2020/11/18 10:20:38 [IP] add train info to cbi track name:IN477+ train handle1 1 train_handle2 1 win_handle14 group number:106 dest_id:04
2020/11/18 10:20:38 [STBY] train message master to slave:OF 00 01 17 08 00 01 14 04 00 03 00 31 32 39 30 34
```

图6 日志示例

针对上海地铁 1 号线信号系统升级中的 ATS 软

件测试，结合运营场景设计了基于 13 个场景的测试用例，覆盖 47 个功能项。从测试环境自动化部署到测试报告自动生成共耗时 2 h。在使用自动化测试平台前，人工搭建测试环境并完成测试，通常需要 8 h。利用该自动化测试平台，可大幅减少测试时间。随着测试系统日趋完善，测试人员编写的测试场景脚本的复用率将会逐渐提升，利用已创建的测试场景脚本，测试执行人员可将更多精力用于其它有助于测试效率提升的工作。

#### 4 结束语

开发了基于场景模拟的 ATS 软件自动化测试系统。测试系统由被测对象服务器、模拟集成服务器和测试管理服务器构成，将 ATS 系统内部环境的模拟与 ATS 系统外部环境的模拟相分离，降低 ATS 软件仿真测试系统的复杂度。目前，已完成测试管理服务器软件模块的开发，包括测试流程编辑、测试场景编辑、测试日志存储、测试报告生成 4 个主要模块。使用该测试系统时，将单一功能项与运营场景结合起来设计测试用例，使用基于一个场景模拟的测试用例即可验证多个功能项组合的正确性，可显著提高软件测试效率。此外，测试系统可自动执行测试过程，并自动生成测试报告，测试人员可将精力集中于测试场景设计和测试策略优化，不断优

化测试系统。

地铁 ATS 系统与铁路分散自律调度集中控制（CTC，Centralized Traffic Control）系统的功能类似，虽然两者外部接口存在很大差别，但测试方法可以借鉴。

#### 参考文献

- [1] 赵威. 城市轨道交通列车自动监控系统的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2008, 5 (5): 30-32.
- [2] 刘勇. 关于移动闭塞制式下地铁ATS子系统的分析与研究 [J]. 交通与信息化, 2019 (3): 164-166.
- [3] 李智, 张琦. FZY型ATS系统仿真平台结构分析与程序设计 [J]. 铁路计算机应用, 2015, 24 (5): 42-43.
- [4] 周公建, 高明生, 曹华杰. 无人驾驶系统跨专业联动场景设计 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (3): 59-63.
- [5] 陈俊强. 基于数据驱动的ATS系统功能测试方法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13 (2): 70-73.
- [6] 蒋倩, 岳龙, 李书杰. ATS系统自动化测试设计与实现 [J]. 数字技术与应用, 2019, 37 (5): 160-162.
- [7] 欧阳敏, 熊坤鹏. 城轨通用软件测试框架的设计与实现 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (S2): 54-57.
- [8] 金久强, 王浩. 北京地铁6号线行车综合自动化系统设计与实现 [J]. 铁路计算机应用, 2015, 24 (8): 56-61.
- [9] 王鑫. 地铁信号ATS系统的功能分析 [J]. 科技创新导报, 2018 (10): 10-12.
- [10] 周皓钧. 广州地铁四五号线ATS系统结构浅析 [J]. 中国新通信, 2016 (9): 127-128.

责任编辑 桑苑秋