

面向服务的 AI-ESTATE 故障诊断系统建模

姜会霞, 范书义, 魏保华, 王 成

(军械工程学院 导弹工程系, 石家庄 050003)

摘要: 测试和诊断的融合可以提高武器系统的维护效率, 但是随着武器装备的升级改造就带来了原有的诊断知识难共享、诊断推理软件难以互操作、难重用, 诊断功能难扩展的问题; AI-ESTATE 标准规范了诊断知识和数据的标准化描述和诊断推理机的服务接口, 为知识互换和软件可移植提供了条件; 论文研究了面向服务的 AI-ESTATE 开放式故障诊断系统的体系结构和信息传递模式, 分析了推理机模型管理服务 and 互操作服务; 然后运用静态诊断模型服务关系图和 UML 时序图分析了 AI-ESTATE 服务在诊断模型编辑、索引等功能实现中的交换流程, 运用动态诊断模型的 UML 时序图分析了 AI-ESTATE 互操作服务在故障诊断系统运行中推理机与其它组件的动态交互过程, 为开放式 AI-ESTATE 智能诊断系统的开发奠定了基础。

关键词: AI-ESTATE; 服务; 诊断系统; 建模

Service-Oriented AI-ESTATE Fault Diagnosis System Modeling

Jiang Huixia, Fan Shuyi, Wei Baohua, Wang Cheng

(Missile Engineering Department, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The combination of test and diagnosis can improve the support efficiency of weapon system. But it brings forth the difficulty of sharing diagnosis knowledge, poor reasoner software interoperability and reuse, and low extendibility of the diagnosis system when weapon equipments are changed. AI-ESTATE standard provides the formal diagnosis knowledge and data specification to facilitate the exchange of diagnosis information, defines the diagnostic reasoner interface using services to facilitate the portability. The system framework and the communication mode of Service-oriented open AI-ESTATE diagnostic system is researched in the paper. Then model management services and reasoner manipulation services are analyzed. The services Relationship and UML sequence diagram of Static diagnostic model are applied to represent the exchange flow of AI-ESTATE service in the process of editing diagnostic model, index model attribute and the like. UML sequence diagram of dynamic context model is applied to represent the dynamic function of reasoner manipulation services between reasoner and other components in the running of diagnostic system. These analyses of AI-ESTATE services can provide basis model for the development of open AI-ESTATE diagnostic system.

Keywords: AI-ESTATE; service; diagnostic system; modeling

0 引言

随着武器装备性能的不断升级改造, 其测试诊断系统也必须不断的改进提高。然而原有的测试与诊断系统与武器装备的性能特征紧密的耦合在一起, 引起了武器系统升级改造时必须重新开发诊断系统, 系统开发时间长、成本高^[1]。因此新的测试诊断方法无缝链接原有的系统、诊断知识与数据共享、诊断推理软件可移植、可重用, 则成为解决上述问题的关键。IEEE1232 标准 AI-ESTATE (artificial intelligence exchange and service tie to all test environments, 全测试环境人工智能交换与服务) 通过规范诊断知识和数据的标准化描述和诊断推理机的服务为测试和诊断的分离、知识共享和诊断推理机重用提供了方法^[2-3]。

AI-ESTATE 采用面向服务的思想, 规范了诊断推理机提供给其它组件的诊断服务。通过服务, 诊断推理机组件给测试系统、用户、维修系统等提供推理逻辑。AI-ESTATE 诊断推理机组件可以独立运行, 也可以和其它组件通过服务共同完成一项任务。AI-ESTATE 系统通过服务实现 AI-ESTATE 功能组件的互用性和互操作性。因此这些服务在系统中的功

能和实现方法对 AI-ESTATE 系统的建模分析具有重要的作用。

选用的故障诊断方法不同, 诊断过程也不同, 相应使用的 AI-ESTATE 服务的类型也不同。即使对于同一类诊断方法采用的测试和诊断序列的不同, 包含的服务类型也不同。最典型的如按照对信号利用的流程角度划分为诊断测试方式和测试后诊断方式。诊断测试的方式是指为了实现诊断推理的目标而进行的由诊断流程指导测试, 使测试程序按动态进行的方法; 测试后诊断则是指将全部的测试进行完毕, 然后依据测试结果进行综合诊断。为了说明 AI-ESTATE 服务在诊断过程中的作用, 论文以典型类型的诊断过程和环境为例, 采用 UML 建模方法对面向服务的 AI-ESTATE 诊断系统建模, 为开放式 AI-ESTATE 诊断系统的软件开发奠定基础。

1 AI-ESTATE 故障诊断系统体系结构

AI-ESTATE 标准面向构建开放式故障诊断系统, 规范了智能诊断域中诊断知识和数据的结构和标准化描述, 设计了标准化的测试与诊断服务接口, 通过使用问题封装、定义接口边界、开发信息交换机制和规范标准服务, 从而确保不同的诊断推理系统能够相互兼容、相互操作, 测试诊断知识可共享、可移植。在 AI-ESTATE 兼容的诊断系统中, 诊断知识、测试、维修、诊断推理、诊断用户及被测或被诊断对象均被分离, 各单元仅是系统的一个组件, 组件与组件之间通过服务进行信息

收稿日期: 2016-10-05; 修回日期: 2016-11-24。

作者简介: 姜会霞(1975-), 女, 讲师, 博士, 主要从事故障诊断, 军用自动测试系统方向的研究。

交互和操作，如图 1 所示。

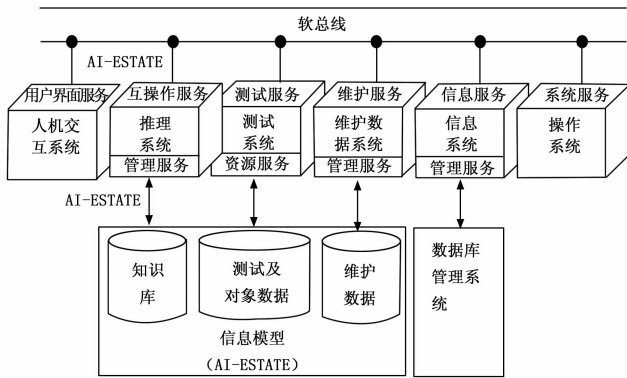


图 1 面向服务的 AI-ESTATE 故障诊断系统结构

系统中所有的子系统采用组件模式并通过服务挂接在软总线上，进行信息的交互和操作。各个组件均保持一定的功能独立性，组件内部的变化不会影响其它组件的运行和使用。该结构将测试程序独立在一个应用程序中，使整个系统的 TPS（测试程序集）变的更小更模块化。当测试系统、维护系统、推理系统等升级改变时不会引起其它程序的变化。诊断知识和数据采用 AI-ESTATE 标准化的信息模型描述的方法进行规范，使得诊断知识在全系统内具有一致性和无疑义性，满足了知识的共享和交换要求。因此面向服务的 AI-ESTATE 故障诊断系统能够实现测试与诊断的分离，能够实现知识和数据的共享与重用。为了进一步提高系统间的可移植性和互操作性，AI-ESTATE 规范了推理机组件的接口形式，每个推理机都通过规范的封装服务与其它组件进行交互。这些服务的封装定义促进了系统的可交换性，使得诊断推理机与遵循 AI-ESTATE 的系统间的互换而不影响系统的其他单元。另外封装服务的定义提出了一个隐藏具体推理机实现细节的概念。这些服务包含了对所有诊断推理机共有行为的抽象，而不会理会实现的细节。因此，封装机制提供了遵循 AI-ESTATE 系统的诊断推理系统间的可交换性，减少了系统表现的复杂性。

2 AI-ESTATE 推理机服务

AI-ESTATE2002 通过规范模型管理服务和推理机互操作服务以实现诊断知识的共享和推理机软件的互操作、可移植，如图 2 所示。

模型管理服务使推理机可以提供给用户对 AI-ESTATE 诊断信息模型进行实体创建、属性设置、属性查询等功能接口。该类服务满足了诊断知识和数据共享和重用的同时还可以在原有知识的基础上根据诊断环境或对象的不同进行改造，从而使知识具有了扩展性。推理机互操作服务使推理机可以根据用户需求进行诊断模型的加载和诊断过程的控制，并允许用户对诊断过程中的状态进行查询或人工操作，也可以向维护系统提供诊断结果、维修建议和维修成本评估等。推理系统互操作服务实现了推理机与测试系统、维护系统等组件的信息交互和互操作，而不会影响推理机内部的变化，满足了测试与诊断分离的需求。这些服务的标准化的规范使得推理机主要满足对外接口要求就能够无缝链接到任何诊断系统中，实现了推理软件的可移植。通过这两种服务，AI-ESTATE 兼容的智能诊断系统不仅可以对静态故障诊断信息模型进行操作和管理，还可以对

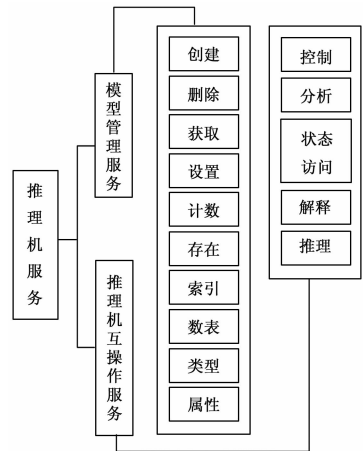


图 2 AI-ESTATE 推理机的规范服务

模型的动态过程实现运行管理^[4-6]。诊断推理机只通过服务与其它组件进行交互，当推理机变化时不会影响整个系统的结构和应用程序的执行，从而可以更好的进行系统的升级。因此服务是推理机与其它组件进行信息交互的关键和唯一通道，也是保证整个推理系统正常运行的关键。

3 静态模型的 AI-ESTATE 服务建模

静态模型是指描述各种诊断方法和知识的静态信息模型，也就是各种诊断信息模型如故障树诊断信息模型、贝叶斯诊断信息模型等。

故障树诊断方法是典型的诊断测试方式的代表。当故障树诊断被用户激发后，推理机将按照名称索引的方式将对应的诊断模型从知识库中装载，并将其设置动态模式，即可以对模型进行操作。首先由推理机得到要进行的测试项，驱动 TPS 执行 UUT 测试；测试结束后推理机获取测试结果；然后根据此结果进行诊断推理判断，如果得到了诊断结论则诊断过程结束，否则进行下一步的推理过程。故障被隔离后，如果需要进行模型设置则可以通过 put 服务进行诊断模型的修改，修改后通过 save 服务保存模型。对该诊断过程中，AI-ESTATE 服务在各组件中的相互作用关系如图 3 所示。

当用户选择好模型后，调用测试诊断平台组件的 load model 接口；通过推理机提供的 AI-ESTATE load_model 服务将故障树诊断模型 FTM.XML 装载到推理机中，如果选择的模型已经被装载到推理机中，则返回错误状态码 OPERATION_OUT_OF_SEQUENCE；如果装载模型的路径不正确则返回错误状态码 MISSING_OR_INVALID_ARGUMENT；装载项目正确则模型装载成功。装载模型后平台用户调用 Execute Model 接口启动故障树模型的诊断；通过模型的引擎进入到故障树诊断的循环过程中：首先执行获取故障树测试步骤，调用推理机的 AI-ESTATE get_test_setp 服务从模型中得到要执行的诊断项目；Perform Test 命令利用得到的指定测试项目信息驱动 TPS 执行相应的 UUT 测试；推理机通过 get_test_result 服务获取 UUT 执行测试后的实际测试结果并利用诊断模型中的信息进行推断，如果要求进行进一步的诊断则再次进入下一个诊断循环，否则得到诊断结论并停止诊断。平台用户在诊断过程结束后可以通过 AI-ESTATE get_diagnosis 服务获取诊断结论。故障被隔离后，可以通过 AI-ES-

TATE put_model 服务进行模型的设置, AI-ESTATE save_model 则将修改后的模型保存至模型存储介质。该诊断过程主要涉及到 AI-ESTATE 模型管理类的 get、put 服务, 推理机操作服务类的 load_model 和 save_model 服务, 其诊断过程的 UML 顺序图如图 4 所示^[7]。

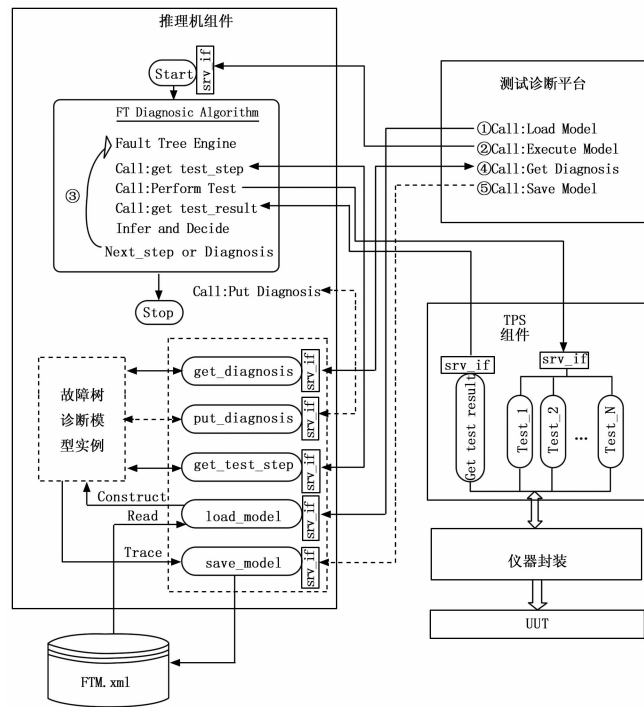


图 3 诊断测试方式的 AI-ESTATE 服务关系图

上述模型操作过程中, 如果测试数据不是单步获取的而是全部测试完毕后进行诊断的, 则诊断过程中不需要获取测试服务驱动 UUT 测试, 而只需要获取知识库中的测试结果后根据推理策略进行故障诊断。因此在该诊断系统中与测试系统的执行是完全隔离的。以上通过典型的故障树诊断方法在 AI-ESTATE 系统中的应用, 描述了诊断模型和推理机、推理机和系统其它组件的服务调用关系。除了上述模型诊断中涉及的模型管理服务、诊断推理互操作服务之外, AI-ESTATE 为了支持维修、保障, 还提供了使用户完全理解诊断过程的各种状态信息的服务。

4 动态模型的 AI-ESTATE 服务建模

AI-ESTATE 动态上下文模型 (DCM) 规范了各种实体捕获诊断上下文中的各种动态信息。DCM 使 AI-ESTATE 兼容的推理机具有了一些重要的功能。这些功能与诊断序列中每一步的推理过程的状态有关。因此 DCM 与静态的 FTM 不同, 它的知识和数据是在诊断序列中实时创建的。整个 DCM 记录的信息主要分为四类。一是诊断过程中的各种状态信息, 该信息与实际的诊断序列有关, 是一个实时变化动态产生的信息; 二是整个系统的配置信息, 如各种测试资源信息、测试条件信息等; 三是诊断系统的日志信息, 该信息记录了有关系统的各种历史信息, 包括诊断历史、诊断时间、维修历史等; 四是诊断系统说明信息, 如生产厂商对系统的操作说明、版本信息、警告等。在此重点说明 DCM 的诊断动态信息的形成。诊断序列可以表示为一系列的诊断步骤, 每个诊断步骤可以执行一个

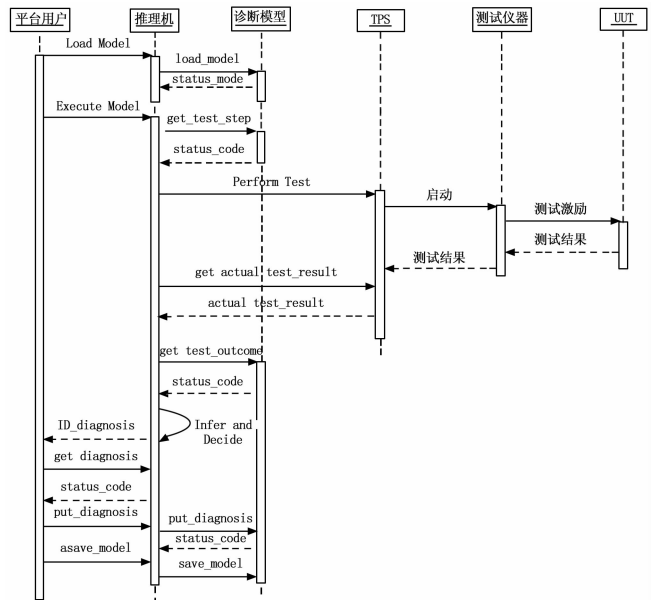


图 4 诊断测试方式 AI-ESTATE 模型管理服务顺序图

或多个测试。DCM 所记录的状态就是每个执行步骤的状态信息, 包括: 当前使用的模型、与活动模型相关的各种资源、与活动模型相关的各种测试、与活动模型相关的各种诊断、当前故障前提条件以及各种实际的测试信息和测试结果¹。

由于在 AI-ESTATE 诊断过程中 DCM 要实时记录系统所发生的任何信息和状态的变化, 因此它必然要和系统中的平台、诊断信息模型、推理机、测试系统等发生交互。以 AI-ESTATE 故障树诊断系统为例进行简单说明, 其部分时序图如图 5 所示。

当用户采用主动方式或根据测试结果判定启动装备诊断后, 诊断系统首先创建 DCM 实体为各种信息的记录做好准备; 诊断平台装载模型, 并通过推理机服务 load_model 将故障树信息模型加载到诊断过程中; 推理机通过 creat_step 服务创建 DCM 的诊断步骤实体, 以记录每个诊断步骤的状态; creat_active_model 服务创建当前活动模型的实体; put_availability 设置活动模型的适用性, 表明当前模型是可用的; put_corresponds_to 服务将当前装载的故障树模型设置为可用的活动模型并指出其要求的上下文, 从而完成装载模型活动系统所涉及到的各种信息; 平台通过 Execute_model 服务启动诊断过程; 推理机通过 get_test_step 服务获取故障树模型中的执行测试的信息; creat_active_test 服务和 put_corresponds_to 服务用于创建 DCM 活动的测试实体, 表明在给定步骤下推理机使用的测试信息; Perform_test 服务激励测试系统 TPS 实施对 UUT 的测试; creat_active_action 服务、put_corresponds_to 服务、put_time_incurred 服务描述在该诊断过程中执行的测试行为和测试时间; 之后推理机通过 get_actual_test_result 服务获取测试系统的实际测试结果, 同时推理机通过 put_actual_outcome 服务将该信息记录在 DCM 中; 之后故障树推理机根据测试信息和模型信息进行推理, 完成一个诊断步骤; 并通过 creat_session、put_trace 等服务将该诊断步骤信息记录在 DCM 中。

需要指出的是并不是所有的诊断系统都必须建立 DCM,

(下转第 21 页)

ting Signal Integrity in SoCs [C]. Conference on Design, Automation and Test in Europe. IEEE Computer Society, 2003; 218-223.

[3] 张月, 李华伟, 宫月战等. 针对串扰引起的时延故障的测试产生 [J]. 计算机辅助设计图形学学报, 2004; 1448-1553.

[4] Chen W Y, Gupta S K, Breuer M A. Test Generation for Crosstalk-Induced Delay in Integrated Circuits [C]. IEEE, 1999; 191-200.

[5] Cheng KT, Chen CH. Generation of high quality non-robust test for Path delay faults. Proceedings of design automation conference, 1994, PP. 365-369.

[6] 李玲. 基于 SAT 的数字电路测试生成算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.

[7] 付宇, 吴为民, 姜升, 等. 基于 SAT 的组合电路自动测试向量生成 [J]. 微电子学; 2011, 14 (2): 230-234.

[8] 杨德才, 谢永乐, 陈光禹. 基于布尔可满足性的层次化通路时延故障测试 [J]. 电子测量与仪器学报; 2008, 22 (3): 6-10.

[9] 姜升. 基于 SAT 的通路时延故障测试生成技术的研究 [D]. 北京交通大学, 2011.

[10] Drechsler S. Acceleration of SAT-Based ATPG for industrial designs [J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems; 2008, 27 (7): 1329-13.

[11] 颜学龙, 梁晓琳, 尚玉玲. 基于 MAF 模型的串扰时延故障的测试矢量生成. 计算机工程与应用; 2009 (19).

(上接第 17 页)

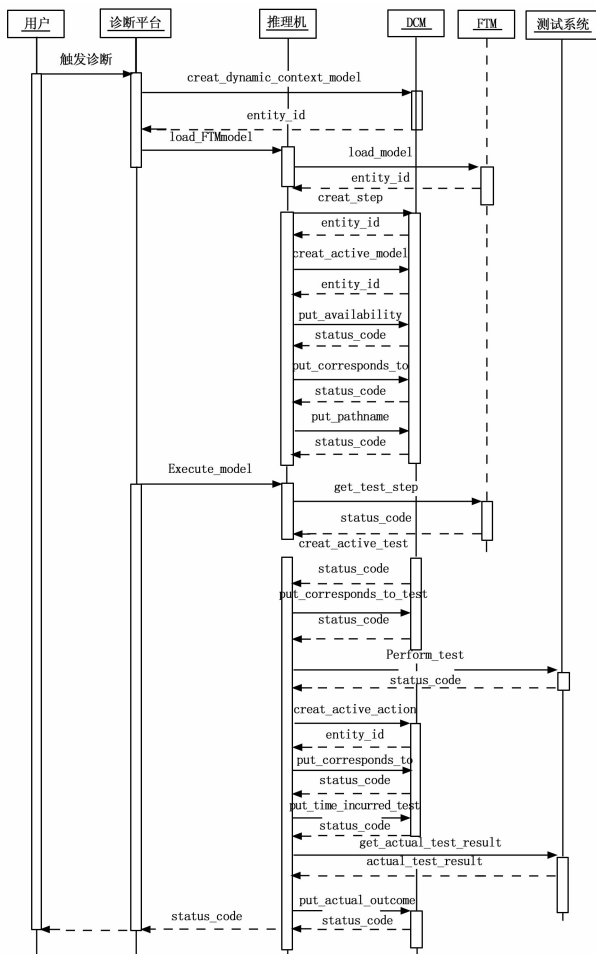


图 5 具有 DCM 的 FTM 故障诊断部分顺序图

但是它给用户提供了理解诊断实施过程的手段。

通过以上诊断模型的建模分析可知, AI-ESTATE 服务是与测试诊断环境无关, 但是模型管理服务类是推理机操作服务类的基础, 也是诊断系统必然要使用的服务; 而对于推理机操作服务则因为系统需求的不同而使用的服务会有很大的不同, 特别是当不需要记录诊断系统的各种过程信息、状态信息时, 使用的服务一般仅涉及 load、estimated 类等服务。

5 总结

在武器装备不断升级改造、保障手段不断提高的情况下,

知识共享、软件可移植、互操作成为新的测试诊断系统的开发和升级的有效方法。面向服务的 AI-ESTATE 故障诊断系统规范封装服务使推理机的接口标准化, 提高了系统间可移植性和互操作性。AI-ESTATE 规范了模型管理服务 and 诊断知识信息模型的标准化描述, 实现了诊断知识的一致性描述, 使得诊断知识和数据可共享; 通过定义推理机的互操作服务使得 AI-ESTATE 兼容的故障诊断系统实现了测试与诊断的分离, 使得推理机软件得以互操作、可移植。基于 UML 的服务关系图和顺序图进一步的说明了 AI-ESTATE 推理系统互操作服务、模型管理服务在故障诊断静态模型和动态模型中的作用, 为开放式 AI-ESTATE 智能诊断系统的开发奠定了基础。

参考文献:

[1] 多丽华. 装备远程协同诊断服务共享模式及关键技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2005.

[2] IEEE Std 1232-2002, IEEE Standard for Artificial Intelligence Exchange and Service Tie to All Test Environments (AI-ESTATE) [S].

[3] IEEE Std 1232-2010, IEEE Standard for Artificial Intelligence Exchange and Service Tie to All Test Environments (AI-ESTATE) [S].

[4] Pat Cosgriff, Michelle Harris, Alicia Helton. Intelligent Diagnostic Reasoning System Deployment Process and Results [A]. IEEE system Readiness Technology Conference. IEEE Autotestcon 2008 Proceedings [C]. Anaheim, California; IEEE, 2008; 154-158.

[5] William R. Simpson. A View of the AI-ESTATE Architecture and the ABBET Upper Layers [A]. IEEE system Readiness Technology Conference. IEEE AUTOTESTCON 1996 [C]. Dayton, OH, USA; IEEE, 1996; 213-217.

[6] Anthony L. Alwardt, Angela. Nielson. Utilizing A Service-Oriented Architecture to Perform Closed-Loop Diagnostics in Network Centric Support Environments [A]. IEEE Systems Readiness Technology Conference. IEEE AUTOTESTCON 2007 [C]. Baltimore, United States; IEEE, 2007; 332-339

[7] Houston King, Nathan Fortier, John W. Sheppard. An AI-ESTATE Conformant Interface for Net-Centric Diagnostic and Prognostic Reasoning [A]. IEEE AUTOTESTCON 2014 [C].

[8] 袁少辉, 刘坚, 于德介. 基于 UML 的设备远程协同诊断平台系统建模 [J]. 机电一体化, 2004 (3): 83-86.

[9] David Carlson. XML 应用的 UML 建模技术 [M]. 周靖, 侯奕萌, 沈金河, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2003.