

基于 AI-ESTATE 标准的贝叶斯网络 诊断模型研究

刘春霞¹, 许爱强², 李超¹

(1. 海军航空工程学院 研究生管理大队, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院 科研部, 山东 烟台 264001)

摘要: 贝叶斯网络在解决复杂装备中不确定性和关联性引起的故障中具有很大优势, 建立符合 AI-ESTATE 标准的贝叶斯网络模型, 对实现其通用性至关重要; 首先介绍了 AI-ESTATE 标准的主要内容、体系结构和 6 种信息模型; 其次, 在对贝叶斯网络进行分析的基础上, 研究如何将公共元素模型扩展为贝叶斯网络模型, 详细介绍了拓展过程并给出了拓展框图, 同时对各实体和属性进行了说明; 最后, 针对标准中采用的 EXPRESS 描述语言编辑工具少、通用性差等问题, 采用 XML 语言对其交换文件进行描述, 使得诊断信息具备更好的可移植性和互操作性。

关键词: AI-ESTATE 标准; 诊断信息模型; 贝叶斯网络; XML 语言

Research on Bayesian Network Diagnostic Model Based on AI-ESTATE Standard

Liu Chunxia¹, Xu Aiqiang², Li Chao¹

(1. Graduate Student's Brigade, Yantai 264001, China; 2. Department of Scientific Research, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Bayesian Network has great advantages in solving the uncertainty and association fault in complex equipments. setting up the Bayesian Network Diagnostic Model according to AI-ESTATE Standard is of great importance to realize the goal of universality. Firstly, the main contents, architecture and six information models of the AI-ESTATE Standard are introduced. Secondly, extending process from Common Element Model to Bayesian Network Model is analyzed in the paper based on the analysis of Bayesian Network, at the same time, extending figure is given, each entity and attribute are introduced in detail. Finally, aiming at the problem that the EXPRESS language used in the standard has the disadvantages of less editing tools and poor utility, XML is used to describe the exchange document for its universal property, as a result, the diagnostic information are equipped with portability and interplay.

Keywords: AI-ESTATE standard; diagnostic information model; BN; XML language

0 引言

在设备的故障诊断中, 由于诊断设备的不精确性、诊断对象的复杂性及知识的局限性, 使得诊断中的不确定性问题突出。基于概率论和图论的贝叶斯网络通过图形化的方法表示和运算概率知识, 克服了基于规则的系统所具有的一些概念上和计算上的困难, 对于解决复杂装备中不确定性和关联性引起的故障有很大优势^[9]。实现贝叶斯网络诊断模型以及其他诊断知识的可互换、重用和共享, 才能使其更广泛地应用到故障诊断中, 更好地为诊断工作服务。AI-ESTATE 标准为此提供了方法, AI-ESTATE 是人工智能技术应用于系统测试与故障诊断领域的国际通用标准^[3]。它定义了诊断推理机与用户之间的接口、测试信息知识库及常用的数据库, 实现了诊断知识的可移植和互操作。

1 AI-ESTATE 标准

AI-ESTATE 标准为不同的推理机建立了标准信息模型和软件服务机制, 目的是为诊断知识提供标准定义。同时标准还明确指定了与现代测试、诊断系统工作状态相一致的软件交

换格式和服务接口。标准的内容主要有:

- 1) AI-ESTATE 标准的体系结构;
- 2) 诊断信息模型的标准定义;
- 3) 诊断模型交换格式的标准定义;
- 4) 诊断推理机软件服务的标准定义。

标准主要围绕两个方面展开研究, 一是标准推理机之间的信息与知识的交换, 二是推理机与测试环境中其他组件的互操作。AI-ESTATE 标准还制订了绑定策略, 制订绑定策略的目的是指导软件开发者在创建绑定层时制定一个与 AI-ESTATE 服务接口相匹配的接口。应用程序通过该接口与 AI-ESTATE 的服务联系, 这样绑定层就能隔离应用程序和诊断推理机, 真正实现测试和诊断的隔离。

AI-ESTATE 标准中定义了 6 种信息模型, 建立信息模型的目的是确定进程的实体, 从而能在该进程中进行准确的通信。通过信息模型, 信息交换的方式有两种, 第一种是通过交换文件, 即信息存储在一个文件的应用程序中, 并为另一个应用程序所读取, 文件的格式、内容的语法形式都是由信息模型决定的。第二种信息交换模式是通过一组为系统成分所定义的服务, 同样, 组件的接口定义和内容的语法形式都是由信息模型决定的。模型之间的关系结构图如图 1 所示。

图 1 中位于顶部的公共元素模型 (CEM) 明确了仪器测试和诊断中的公共实体, 如 Diagnosis, RepairItem, Resource

收稿日期: 2015-01-13; 修回日期: 2015-03-20。

作者简介: 刘春霞(1990-), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事自动测试系统与故障诊断方向的研究。

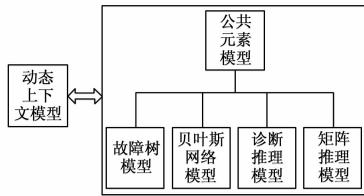


图 1 AI-ESTATE 模型结构

和 Test, 实体由属性构成, 这些属性包括 costs 和 failure rates 等。下层的故障树模型 (FTM)、贝叶斯网络模型 (BNM)、诊断推理模型 (DLM) 和矩阵推理模型 (DIM) 都是根据依据一定的原则在公共元素模型的基础上扩展的。公共元素模型 (CEM) 定义了可以在所有推理方法中通用的实体, 而下层的模型只支持一些特殊的诊断方法。动态上下文模型 (DCM) 定义了表示上下文环境的实体及信息交换的接口并记录推理的历史过程信息。

2 公共元素模型到贝叶斯网络模型的扩展

贝叶斯网络由网络结构 G 和网络参数 θ 两部分构成, 即 $B = [G, \theta]$ 。 G 是一个有向无环图, $G = [V, E]$, 其中, V 表示一组随机变量 $V_i \in V$, 图中节点与 V 中变量一一对应; E 是有向图中从 V_i 指向 V_j 的边, 表示变量之间的条件依赖关系。参数 θ 是与每个变量相联系的条件概率分布。网络结构 G 就是用一个有向无环图对变量进行编码, 用于定性描述变量之间的概率依赖关系。参数 θ 用于定量描述节点和其父节点的概率依赖程度, 没有父节点的节点条件概率为其先验概率。

在建立 BNM 时, 假设任何测试变量只和诊断变量和其他的测试变量相关, 而诊断变量和其他任何变量之间不相关。测试变量和诊断变量都可以抽象为贝叶斯网络有向图的节点, 测试变量与其他测试和诊断变量之间的关联程度可以抽象为有向图的边。经上述分析已抽象出 BNM 的两个子实体 bayesTest 和 bayesDiagnosis, 而测试变量与其他测试和诊断变量之间的关联程度抽象为了 dependsOnElement 实体。推理的过程需要用到测试结果和诊断结论, 所以和 CEM 一样, bayesTest 有测试结果属性 testOutcome, bayesDiagnosis 有诊断结果属性 diagnosisOutcome。具体扩展情况如图 2 所示。

其中, 椭圆框表示公共元素模型元素, 矩形框表示贝叶斯网络模型元素。粗连接线表示由公共元素模型元素继承而来, 细连接线表示由贝叶斯网络模型元素继承而来。连接线上的数组是所对应元素的约束条件。

bayesNetworkModel 实体由 CEM 中的 diagnosticModel 实体继承而来, 是贝叶斯网络模型的最高层次的抽象, 包含所有的诊断信息。它的两个属性 hasTest 和 hasDiagnosis 分别是 bayesTest 和 bayesDiagnosis 实体类型, hasTest S [2:?] 和 hasDiagnosis S [2:?] 数组表示测试和诊断的次数都不得少于两次。

bayesDiagnosis 实体继承自 diagnosis 实体, 包含一个属性 diagnosisOutcome。

bayesTest 实体继承自 test 实体, 包含两个属性。第一个属性是测试结果属性 TestOutcome; 第二个属性是 dependsOnElement, 该属性连接自身和 bayesDiagnosis 实体, 表示测试变量与其他测试和诊断变量之间的关联程度, 因为变量之间的关联程度可能是 0, 即不相关, 所以其所属的 dependentElement 实体用虚线框表示, 属性数组 dependsOnElement L

[0:?] 从 0 开始。

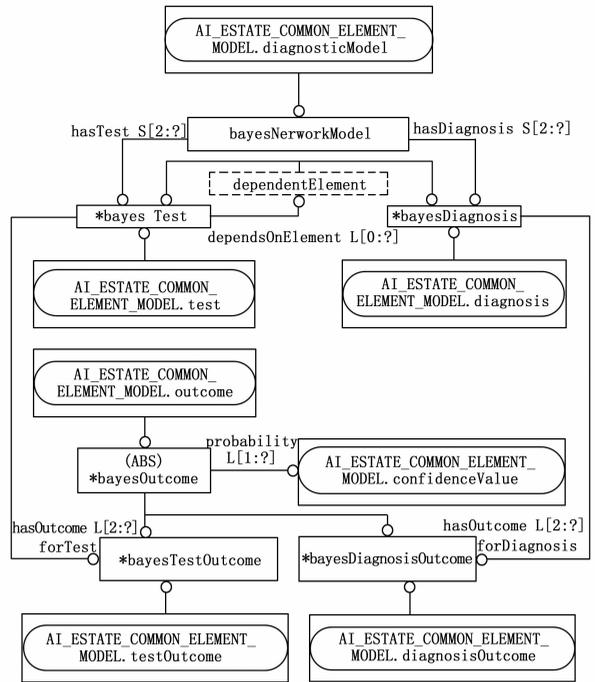


图 2 CEM 拓展为贝叶斯网络模型

TestOutcome 和 DiagnosisOutcome 实体分别继承自 CEM 中的 testOutcome 和 diagnosisOutcome 实体, 也是 bayesOutcome 的子体。由于测试和诊断都至少要有两次, 所以测试和诊断结果的数组 hasOutcome L [2:?] forTest 和 hasOutcome L [2:?] forDiagnosis 最小为 2。

bayesOutcome 实体继承自 CEM 中的 outcome 实体, 其属性 probability 是 confidenceValue 实体类型。其数组中数列的顺序必须和测试和诊断结果的顺序相同, 即在诊断结果中必须和 Good, Candidate, Bad, NotKnown, UserDefined 的顺序相对应, 在测试结果中必须和 Pass, Fail, NotKnown, UserDefined 的顺序相对应。

由于篇幅有限, 本文以 EXPRESS 语言格式描述 bayesTest 实体^[3]:

```
ENTITY BayesTest
SUBTYPE OF(Test);
dependsOnElement: LIST OF UNIQUE DependentElement;
SELF/Test.allowedOutcomes: LIST[2:?] OF UNIQUE BayesTestOutcome;
WHERE
sumToOne; checkTestProbabilities(allowedOutcomes);
END_ENTITY;
```

上述语句表示 bayesTest 是 Test 的子体, 包含两个属性: dependsOnElement 属性和 BayesTestOutcome 属性。其中 WHERE 表示约束条件, BayesTest 的约束条件为 sumToOne, 表示概率表中, 测试点的概率值相加为 1, 即 $\sum C_{Pa(i)} = 1$ 。

3 基于 XML 的贝叶斯网络模型

虽然标准中的信息模型使用 EXPRESS 语言来描述, 但是 EXPRESS 语言在实际工程运用中较少, 编辑 EXPRESS 文件的工具也不多, 而 XML 语言作为标记语言的元语言, 具有很好的通用性。所以本文考虑采用基于 XML 语言的模型文件。

AI-ESTATE 模型为数据的交换提供了方便, 交换文件是 AI-ESTATE 标准提供的用于模型的交换的中间形式, 方便了诊断知识的可移植。AI-ESTATE 标准规定了两种交换格式: ISO 10303-21: 1994 和 ISO 10303-28: 2007。相比较 ISO 10303-21: 1994 交换格式而言, ISO 10303-28: 2007 交换格式下, 数据到文件的映射具有很强的灵活性。该转换格式还定义了一种新的实现方法, 即通过一定的规则, 用 XML 模式表示标准所用的 EXPRESS 模式和数据, 同时规定了模型转换的相关标准。本文研究基于 ISO 10303-28: 2007 格式的贝叶斯模型文件。

符合 ISO 10303-28: 2007 的交换文件称为 ISO 10303-28: 2007 交换文件, 任何从 EXPRESS 模式到 XML 模式的映射被称为 ISO 10303-28: 2007 XML 模式。交换文件应该遵循一种主模式, 主模式是信息模型的一种, 交换文件中的数据遵循交换模式中的语义定义和要求。

一个符合 ISO 10303-28: 2007 格式的交换文件有 3 类: “UOS 文件”、“配置文件”和“ISO 10303-28: 2007 文件”。UOS 文件遵循唯一的一种 EXPRESS 主模式, 并且符合从 EXPRESS 到 XML 的默认映射, 它的根节点是 <uos> 节点; 配置文件本质上也是一个 UOS 文件, 但是它使用从 EXPRESS 到 XML 的交替映射, 不同的配置指令存储在不同的配置文件中, 一种指令代表一种映射模式, 空的配置文件代表默认映射, 配置文件的根节点也是一个 <uos> 节点; ISO 10303-28: 2007 文件包含一个以上的 UOS 文件, 不同的 UOS 文件指向不同的 EXPRESS 主模式, 同时映射模式也不尽相同, 该文件的根节点是一个 <iso_10303_28> 节点, 包含 <uos> 子节点。

ISO 10303-28: 2007 包含 3 种内置的 XML 模式文档: cnf. xsd 是配置语言 XML 模式, 用于配置文件中; exp. xsd 是基础 XML 模式, 包含一些基本 EXPRESS 类型到 XML 映射的定义和 <uos> 节点, ISO 10303-28: 2007 文件包含此类文档, 并且定义了 <uos> 和 <Entity> 等节点的子类; doc. xsd 是文件 XML 模式, 包含 ISO 10303-28: 2007 文件所用到的定义。

由于篇幅有限, 只给出了贝叶斯网络模型的 UOS 文件的顶层结构。

```
<? xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"? >
<bnm:uos xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xmlns:exp="urn:iso:std:iso:10303:-28:ed-2:tech:XMLschema:common"
  xmlns:bnm="urn:iso10303-28:schema/Ai_estate_bayes_network_model"
  targetNamespace="urn:oid:1.3.111.2.1232.100.2011.2"
  xsi:schemaLocation=
    "urn:iso10303-28:schema/Ai_estate_bayes_network_model
    Ai_estate_bayes_network_model.xsd"
  express="bnm.exp">
  <exp:header>
  <name>...</name>
  <time_stamp>...</time_stamp>
  <author> /
  <name>...</name>
  <address><address_line>...</address_line></address>
  </author>
```

```
<organization>
<name>...</name>
<address><address_line>...</address_line></address>
</organization>
<preprocessor_version>...</preprocessor_version>
<originating_system>...</originating_system>
<authorization>...</authorization>
<documentation>...</documentation>
</exp:header>
<! -- sequence of entity instances omitted -->
```

</dim: uos>其中 bnm: uos 是根节点, 表示贝叶斯网络模型 UOS 文件。xmlns: xsi 声明 XML 实例命名空间, 将 xsi 前缀与该命名空间绑定, 这样模式处理器就能识别 xsi: schemaLocation 属性。xmlns: bnm 指明所用的模型为贝叶斯网络模型。targetNamespace 是目标命名空间, 目标命名空间指向某种主模式和其版本。xsi: schemaLocation 是具体所用到的 Schema 资源。

<exp: header>是<uos>的第一个子节点, <name>给出了 UOS 的一个可读标识符, <time_stamp>给出了 UOS 创建的数据和时间, <author>给出了 UOS 创建者的名字和地址, <organization>给出了 UOS 创建者所属组织的名字和地址。

UOS 文件中, <uos> 节点除了包含 <exp: header> 子节点外, 还包含实体实例, 由于篇幅限制不做详述。

4 结论

通过定义接口、规范服务和诊断知识, AI-ESTATE 为具有可重用、可移植、可互操作且独立于特定厂商和产品解决方案的诊断系统的开发提供了方法。专门解决不确定和不完整诊断问题的贝叶斯网络模型, 在故障诊断中具有很大优势, 贝叶斯网络的标准化, 有助于贝叶斯网络在故障诊断中具备更好的通用性。本文在深入研究标准的基础上, 分析了如何在公共元素模型的基础上扩展得到贝叶斯网络模型, 并采用 XML 语言对其交换文件进行描述, 和 EXPRESS 语言相比, XML 语言具有广泛通用性的特点, 更好的实现了诊断知识的可移植性和互操作性。

参考文献:

- [1] 彭宇, 彭喜元, 曹威. 导弹集成测试策略研究 [J]. 现代防御技术, 2003, 31 (5): 23-27.
- [2] 孙小进, 郭恩全. 基于 IEEE1232 的故障诊断系统的软件架构设计 [J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28 (1): 36-42.
- [3] IEEE Std 1232-2010 [S]: IEEE standard for artificial intelligence exchange and service tie to all test environments.
- [4] 姜会霞, 王成, 李岩. AI-ESTATE 智能诊断系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (8): 2068-2073.
- [5] 姜会霞, 孟晨, 范书义. 基于 AI-ESTATE 的二叉树诊断信息模型研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (9): 2050-2053.
- [6] 李念念, 许清平, 王卫栋. 基于 IEEE1232 的故障树诊断模型研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (11): 3457-3459.
- [7] Sheppard, John W. and Mark A. Kaufman. Bayesian Diagnosis and Prognosis Using Instrument Uncertainty [A]. Autotestcon 2005 Conference Record [C]. IEEE Press, 2005.
- [8] Michael M. New direction for the DoD ATS framework [A]. IEEE Autotestcon' 09 Conference Record [C]. Anaheim, CA, 2009.
- [9] 史志富, 张安. 贝叶斯网络理论及其在军事系统中的应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.