

基于XML的机载航电系统仿真模型结构化描述

王志乐¹,董军宇²,孙忠云¹

(1. 海军航空大学青岛校区 军用虚拟仿真研究与训练中心, 山东 青岛 266041;
2. 中国海洋大学 计算机科学与技术系, 山东 青岛 266000)

摘要:通过分析机载航电系统仿真模型存在的问题,给出了XML数据模型描述的方法和特点,提出了以想定任务需求为仿真建模的驱动数据的方法,基于XML技术设计了想定任务-飞机-机载装备三层描述关系。分别给出了想定任务和航电系统仿真模型的组成、结构化语言描述、有向树模型及XML技术描述的方法,并在此基础上形成规范的系统接口,为系统建模平台的建设提供重要的技术基础。最后,根据有向树和XML技术的特点,以节点和元素为基本单元,设计了XML文件数据访问的操作函数,形成系统建模平台的基础资源,利用设计的XML任务描述文件给出了航电系统仿真应用平台的设计架构。分析表明该方法用于航电系统仿真平台的建设将很大程度上提高仿真模型资源的重用性和共享性。

关键词:航电系统;仿真模型;有向树;XML技术;平台

中图分类号:TP391.9;TP183

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)05-0021-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.05.005

Structured Description of Airborne Avionics System Simulation Model Based on XML

WANG Zhi-le¹, DONG Jun-yu², SUN Zhong-yun¹

(1. Military Virtual Simulation Research and Training Center, Naval Aeronautical University Qingdao Branch, Qingdao 266041, China;
2. Department of Computer Science and Technology, Ocean University of China, Qingdao 266000, China)

Abstract: By analyzing the problems existing in the simulation model of airborne avionics system, the methods and characteristics of XML data model description are given, a method of driving data based on the task requirements for simulation is proposed, and based on XML technology, the three-layer description relationship of the task-aircraft-airborne equipment is designed. The composition of the simulation task and the avionics simulation model, the structured language description, the directed tree model and the XML technology description method are given respectively. On this basis, a standardized system interface is formed, which provides an important technical basis for the construction of the system modeling platform. Finally, according to the characteristics of directed tree and XML technology, using nodes and elements as the basic unit, the operation function of XML file data access is designed to form the basic resources of the system modeling platform. The design structure of the avionics system simulation application platform is given by using the designed XML task description file. The analysis shows that the method used in the construction of avionics simulation platform will greatly improve the reusability and sharing of simulation model resources.

Key words: avionics system; simulation modeling; directed tree; XML technology; platform

0 引言

现代飞机航电系统已经由原先的分立式、联合式变为现在的集成模块化、分布式^[1],由于先进的电子信息技术在航电系统上的应用,使得航电系统功能越来越强大,系统之间的通信数据量成倍增长,交联越来越复杂,涵盖了飞控、显控、雷达、导航、通信、火控等子系

统^[2],该系统也成为现代先进飞机的核心系统。在航电系统仿真的设计、建模、使用过程中,对系统仿真模型缺乏统一的标准,系统仿真模型的开发还处在比较低的层次。主要表现在:(1)仿真模型建立的过程、仿真粒度、实现方法没有统一的标准,系统集成缺乏优化算法;(2)仿真模型接口不规范,对模型接口数据的优

收稿日期:2019-06-19

修回日期:2019-10-24

网络出版时间:2020-01-10

基金项目:国家自然科学基金(41576011);海军航空大学青岛校区科研发展基金(I3194026)

作者简介:王志乐(1983-),男,硕士,副教授,研究方向为军用仿真技术、虚拟现实技术。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20200110.1121.034.html>

化不足,无法形成工业化的仿真产品,模型缺乏重用性,无法根据任务需求进行二次开发。因此,在模拟系统开发过程中需要重点研究航电系统仿真模型抽象描述技术和接口技术。

文中提出了以任务需求为驱动数据,基于 XML 技术^[3-5]设计了想定任务-飞机-机载装备三层描述关系,分别给出了想定任务组成及描述结构,机载航电系统的组成及描述结构,形成了任务和系统仿真的结构化描述方法、存储方法,并在此基础上形成规范的想定数据结构,为系统建模提供重要的技术基础。

1 XML 数据模型

XML 文件结构主要表现为语义节点间的相互嵌套关系^[6]。XML 文件的数据内容通常被抽象为 XML 标签有向树模型^[7],可以将该模型定义为 $T = (V, E, R, L)$, 其中 T 表示标签有向树模型, V 表示有向树中所有节点的集合, E 表示有向树模型中所有关联节点之间边的集合, R 表示有向树的根节点, L 表示有向树中所有节点所带标签的集合。

根据上述定义的 XML 数据模型和表示方法,可以将 XML 文件描述的数据节点之间的关系分为三种情况,而且这三种情况与 XML 有向树模型的节点关系是对应的。假设 T 、 V 、 E 、 R 、 L 存在下列集合表达式。

$$T = \{T_1, T_2, T_3, \dots\}, V_1 = \{V_{11}, V_{12}, V_{13}, \dots\}, \\ V_2 = \{V_{21}, V_{22}, V_{23}, \dots\}$$

其中, $V_1 \in T_1, V_2 \in T_2$ 。

则可以将 T_1 、 T_2 两个 XML 数据模型的节点集合 V_1 、 V_2 所包含的节点通过关系示意图表示出来,如图 1 所示,这样可以更好地说明有向树所包含节点之间的结构关系。

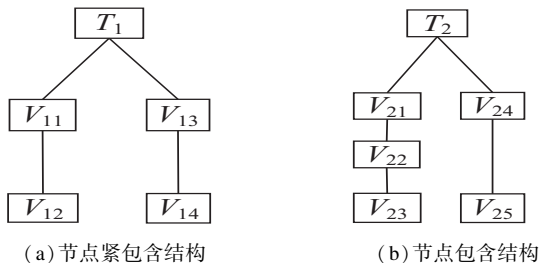


图 1 XML 文件节点之间关系示意图

例如在图 1(a)中节点 V_{11} 与节点 V_{12} 之间的结构关系为紧包含关系,且节点 V_{11} 的层级比节点 V_{12} 高,因此 V_{11} 与 V_{12} 之间构成了父子关系, V_{11} 称为父节点, V_{12} 称为子节点。节点 V_{11} 与节点 V_{13} 属于相同层级,因此构成的结构关系为兄弟关系, V_{11} 与 V_{13} 是兄弟节点。在图 1(b)中,节点 V_{21} 与节点 V_{23} 之间的结构关系为包含关系,且节点 V_{21} 的层级比节点 V_{23} 高一级以上,则节

点 V_{21} 与节点 V_{23} 构成了祖先-后代关系, V_{21} 为祖先节点, V_{23} 为后代节点。

2 想定任务抽象描述

飞机模拟训练系统的开发都是依据想定任务需求,设计相关的机载仿真模型,各系统的仿真模型可以根据系统的重要程度设计仿真的粒度。另外模拟训练是在一定的自然环境中进行的,因此在进行任务想定设计过程中,需要考虑环境因素对仿真模型逼真度的影响。想定任务的组成要素包括了飞机实体、自然环境、从任务想定角度来分析,需要描述统一的实体数据模型和自然环境资源,以及系统环境及任务属性等辅助特性。按层次化描述体系,首先描述想定任务,下面以最具代表性的战术飞行仿真训练系统中的实体资源和环境资源为例,介绍基于 XML 的仿真系统中任务想定的结构化描述。

2.1 仿真资源描述

战术飞行仿真训练系统的总体任务定位是进行基本的战术程序训练,通过综合航电/武器系统的使用进行单机对抗科目的近距空中格斗、中远距拦截;对地(海)面进行轰炸和战术打击,因此想定任务包括至少 2 型飞机实体,及与飞行、航电武器有关的实体资源、自然环境。根据 XML 的数据模型描述机载航电系统仿真模型结构过程中存在多个有向树模型。

$$T = \{T_m, T_{f_1}, T_{f_2}, T_w\}$$

其中, T_m 表示任务想定描述的节点集合; T_{f_1} 表示飞机实体 1 描述的节点集合; T_{f_2} 表示飞机实体 2 描述的节点集合; T_w 表示武器实体描述的节点集合,文中以某型导弹实体的描述为例。

2.2 想定任务结构化描述

想定任务主要描述任务的属性、系统参数、机场信息、实体属性及初始信息。可以用形式化表示语言^[8-9]描述为:

```
Mission::<
    <任务属性<任务 ID>,<任务类型>,<任务名称>,<创建者>,<创建时间>>,
    <系统参数<开始时间>,<结束时间>,<步长时间>,<地形参数<地形 ID>,<地形名称>,<纹理类型>,<数据时间>,<版本>>,<网络参数<服务器 IP>,<当前实体 ID>,<客户 IP>,<端口号>,<实体 ID>,<在线>,<VRIP>>>,<气象参数<天气类型>,<等级>,<能见度>,<日期时间>,<风<风速>,<风向>>,<云<类型>,<高度>,<厚度>,<等级>>,<红外辐射等级>,<电磁辐射等级>>,<机场参数<ID>,<名称>,<经度>,<纬度>,<高度>,<
```

<跑道<跑道长度>,<跑道航向>,<决策高度<MLS>,<TCN>,<SCA>>,<FAF<距离>,<半径>>,<机场压强>,<MLS 下滑角>,<TCN 磁航向>,<SCA 下滑角>>,<仿真实体<实体 ID>,<类别>,<类型>,<名称>,<等级>,<国家>,<红蓝方>,<实体描述<文件路径>>,<基本参数<经度>,<纬度>,<高度>,<速度>,<航向>,<状态>>>>

XML 语言结构具有一定的约束性,在描述对象时需要遵循一定的语法规则和嵌套规则^[10],因此 XML 主要关注的是数据的内容和数据之间的结构关系。利用 XML 数据模型可以将想定任务结构化语言描述方式转化成有向树,例如图 2 是想定任务总体有向树结构,图 3 是气象参数有向树结构,图 4 是仿真实体数据有向树结构。因此想定任务也就是 XML 数据模型的树形表示方式,可以快速转化成 XML 文件进行存储,如图 4 所示。

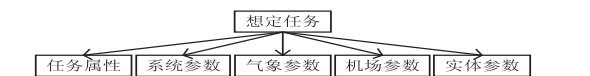


图 2 想定任务总体有向树结构

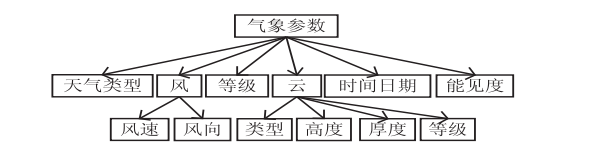


图 3 气象参数有向树结构

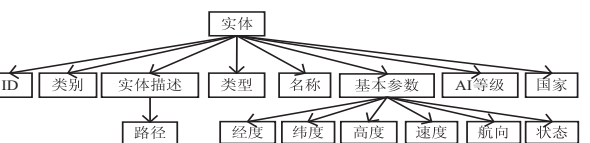


图 4 实体基本信息有向树

利用 XML 的结构化嵌套语言对 Mission 想定任务有向树结构进行描述,如图 5 所示,描述了 Mission 想定任务的属性、气象参数。

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<!-- 任务配置文件,完成PPA系统的任务加载工作-->
<Mission ID="1003" Type="A" Name="Base Operator exercitation" CreatePerson="VRsim"
CreateDate="20161212">
<!-- 系统设置信息-->
<SystemSet>
<!-- 1-地形纹理类型, 0:无纹理, 1:全球纹理, 2:地区纹理-->
<MapInfo ID="100" Name="Hangzhou" Version="1" Data="2000-01-02" TerrianType="1"></MapInfo>
<!-- 1-单位:秒, 范围: 0-900000-->
<StartTime>0</StartTime>
<EndTime>13300</EndTime>
<!-- 1-单位:毫秒, 范围: 10-100-->
<StepTime>20</StepTime>
<Control SeverIP="10.10.10.22" CurrentEntityID="1501">
<PPAIP="10.10.10.20" PortNo="3100" Online="TRUE" EntityID="1501" VRIP="10.10.10.33"></PPA>
<PPAIP="10.10.10.22" PortNo="3100" Online="TRUE" EntityID="1002" VRIP="10.10.10.34"></PPA>
</Control>
</SystemSet>
<!-- 气象信息-->
<Weather Type="SunShine" Level="3" Visibility="10">
<Data Year="2011" Month="06" Day="12" Hour="13" Minute="24" Second="33"></Data>
<Wind Speed="100" Heading="33"></Wind>
<Cloud>
<Cloud ID="1" Type="Stratus" Alt="1000" Thick="20" Level="4"></Cloud>
<Cloud ID="2" Type="Cirrus" Alt="2000" Thick="20" Level="3"></Cloud>
<Cloud ID="3" Type="Cirrus" Alt="3000" Thick="20" Level="3"></Cloud>
</Cloud>
<!-- 温度变化率[℃/km]-->
<TemperatureLapseRate>1.0</TemperatureLapseRate>
<!-- 海平面温度-->
<SeaLevelTemperature>30.0</SeaLevelTemperature>
<SeaLevelPressure>760</SeaLevelPressure>
<!-- 1-红外辐射干扰等级-->
<IRLevel="3"></IR>
<!-- 1-电磁辐射干扰等级-->
<ERLevel="5"></ER>
</Weather>
```

图 5 XML 描述想定任务

3 实体资源抽象描述

想定任务资源描述作为第一层级的数据模型,重点是描述的任务资源之间相互影响、彼此交互的基本信息,如系统参数、气象参数、机场参数以及实体的基本位置信息、姿态和速度的描述,并且定义了实体描述文件的路径。对实体内部系统的描述定义在第二层级的数据模型中实现,即机载航电结构化描述,在第三层级描述子实体,即导弹武器。

3.1 机载航电结构化描述

机载航电系统包括支持飞机完成飞行、作战等任务的所有与电子学相关的设备和系统^[11],对于现代作战飞机来说,航空电子系统需要完成导航功能、大气数据计算、人机接口、目标探测和跟踪、通信导航、任务解算等,对于运输机需要增加货物装载系统等^[1],因此机载航电系统的特点是系统多、数据交互多、交联关系复杂。机载航电系统仿真结构化语言模型描述为:

Entity::<
<配置信息<是否带座舱显示>,<是否使用专用模型>,<是否使用专用接口>,<飞行控制类型>>,<加载模型<FLY>,<ADC>,<INS>,<OESS>,<PDR>,<EW>,<SMS>,<DCMS>,<MC>,<CNI>,<DMDTS>>,<RCS<Face>,<Side>,<Under>>,<IR<Face>,<Side>,<Under>>,<悬挂物<武器<ID>,<挂点号>,<武器型号>,<数量>,<重量>,<描述文件路径>>,<.....>,<武器<ID>,<挂点号>,<武器型号>,<数量>,<重量>,<描述文件路径>>>,<舰炮<炮弹数量>>,<飞行计划<起飞机场 ID>,<航路点<航路点号>,<经度>,<纬度>,<高度>,<切入航向>,<切入距离>,<剩余时间>,<磁差>>,<.....>,<航路点<航路点号>,<经度>,<.....>>>,<科目<数量>,<科目 1<科目 ID>,<类型>,<速度>,<航向>,<高度>,<经度>,<纬度>>,<.....>,<科目 4<科目 ID>,<.....>>>,>

利用结构化嵌套语言对机载航电系统结构模型、属性特征进行了描述,在此基础上可以快速构建有向树,最后基于 XML 对机载航电系统进行树型嵌套结构的建模,存储后可以用于仿真软件、想定软件等的实验建模、应用开发。图 6 描述了某飞机实体的机载航电系统 XML 文件。

3.2 机载武器实体结构化描述

导弹武器是独立的飞行器,同时又作为飞机实体作战系统的一部分,由航电子系统中的外挂物系统进

行交互管理,因此应当作为第三层级的实体进行建模描述,以某型导弹为例,其模型通过结构化描述语言表示为:

```
MISSILE::<
<RCS<Face>,<Side>,<Under>>,<IR<Face>,<Side>,<Under>>,<Weight>,<ChannelNo>,<EWLevel>
>
<ControlType>1</ControlType>
<LoadModel>
<FLY>"ModelFLY.dll"</FLY>
<ADC>"ModelADC.dll"</ADC>
<INS>"ModelINS.dll"</INS>
<EW>"ModelEW.dll"</EW>
<OEES>"ModelOEES.dll"</OEES>
<PDR>"ModelPDR.dll"</PDR>
<SMS>"ModelSMS.dll"</SMS>
<DCMS>"ModelDCMS.dll"</DCMS>
<MC>"ModelMC.dll"</MC>
<NAMP>"ModelNAMP.dll"</NAMP>
<DMDTS>"ModelDMDTS.dll"</DMDTS>
<CNI>"ModelCNI.dll"</CNI>
<!--激光照射吊舱模型加载-->
<LPOD>"</LPOD>
<!--图像传输吊舱模型加载-->
<WPOD>"</WPOD>
</LoadModel>
<RCS Face="3.10" Side="10" Under="12"></RCS>
<IR Face="3" Side="10" Under="12"></IR>
<Hitch>
<Weapon ID="5001" HitchNo="1" Code="X12" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA12.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5002" HitchNo="2" Code="X12" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA12.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5003" HitchNo="3" Code="XA3" Num="2" HangWeight="200" Path="Task1\RK90B.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5004" HitchNo="4" Code="XA3" Num="2" HangWeight="200" Path="Task1\RK90B.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5005" HitchNo="5" Code="X8" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA8.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5006" HitchNo="6" Code="X8" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA8.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5007" HitchNo="7" Code="X8" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA8.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5008" HitchNo="8" Code="X8" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA8.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5009" HitchNo="9" Code="X12" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA12.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5010" HitchNo="10" Code="X12" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA12.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5011" HitchNo="11" Code="X12" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA12.xml"></Weapon>
<Weapon ID="5012" HitchNo="12" Code="X12" Num="1" HangWeight="200" Path="Task1\AA12.xml"></Weapon>
</Hitch>
<GunNum>150</GunNum>
```

图 6 某飞机实体的机载航电系统 XML 文件
该型导弹对应的 XML 描述文件如图 7 所示。

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<!--任务配置文件,完成加载工作-->
<Config>
<RCS Face="0.1" Side="3" Under="3"></RCS>
<IR Face="0.1" Side="2" Under="2"></IR>
<Weight>300</Weight>
<ChannelNo>1</ChannelNo>
<EWLevel>1</EWLevel>
</Config>
```

图 7 导弹对应的 XML 描述文件

4 基于 XML 的数据访问

每个 XML 描述文件中定义了相应数据源的树形结构、节点标记、数据类型、模型路径、属性等信息。以描述的 XML 文件作为系统加载的初始化数据、模型配置数据、模型交互数据等,由于 XML 描述文件的数据受 Schema 约束的性质^[12-14],所以系统间要交互的信息按照 XML Schema 标准进行描述^[15],以此保证应用系统间交流的数据都具有标准的、统一的数据结构形式^[16]。

4.1 XML 交互功能设计

仿真应用系统通过 XML 文件完成数据的交互,主要是实现对 XML 文件的读取、节点操作、元素及属性更新等。建立 CXmlParseSTL 类对 XML 文件进行访问,在该类中完成所有的访问操作和数据处理,既方便航电各系统仿真模型的使用,也有利于仿真系统的集成交互。对 XML 文件的访问数据操作和修改数据操作的设计如表 1 和表 2 所示。

表 1 XML 访问数据操作

访问功能	参数	功能说明
Load	szFileName	加载 XML 文件
FindElem	szElemName	查找当前 XML 节点的元素
FindChildElem	szElemName	查找当前 XML 子节点元素
FindNode	nType	获得节点的位置
GetNodeType	Null	返回节点类型
GetTagName	Null	返回当前位置目标名称
GetData	Null	返回当前节点元素数据
GetAttrib	szAttrib	返回节点的属性值
GetAttribName	iPos	返回当前位置属性名称

表 2 XML 修改数据操作

访问功能	参数	功能说明
Save	szFileName	保存 XML 描述文件
AddElem	szName, szData	增加节点的元素
InsertElem	szName, szData	插入节点的元素
AddAttrib	szAttrib, szValue	增加节点的属性
InsertAttrib	szAttrib, szValue	插入节点的属性
AddChAttrib	szAttrib, szValue	增加子节点的属性
AddNode	nType, szText	增加事件(数据)节点
AddChElem	szName, szData	增加子节点元素
InsertChElem	szName, szData	插入子节点元素
SetAttrib	szAttrib, szValue	设置节点的属性值
SetChAttrib	szAttrib, szValue	设置子节点的属性值
SetData	szData, iPos	设置节点的值
SetchData	szData, iPosCh	设置子节点的值
InsertNode	nType, szText	插入事件(数据)节点
RemvElem	iPos, nType	删除当前位置的元素
RemvChElem	iPs, iPPs, iPsChld	删除子节点元素
RemoveNode	iPos, nType	删除节点

4.2 结构化航电数据模型的应用

航电仿真应用平台基于设计的 XML 数据文件采用配置项的模块化设计方法,每个模块是基于模型组件模板类进行开发,开发的模型组件形成模型资源库,因此设计的航电仿真应用平台资源库包括实体资源库和模型资源库。该平台基于 XML 描述的理想任务驱动文件调用相应的实体资源库及模板类,建立实体对象和实体容器列表,平台可以对实体进行实时管理,平台类架构如图 8 所示。

实体对象根据 XML 想定任务描述文件和机载航电系统描述文件在初始化方法中调用平台提供的模型组件或模型模板,快速地创建模型对象和模型容器列表,并可实时管理模型。

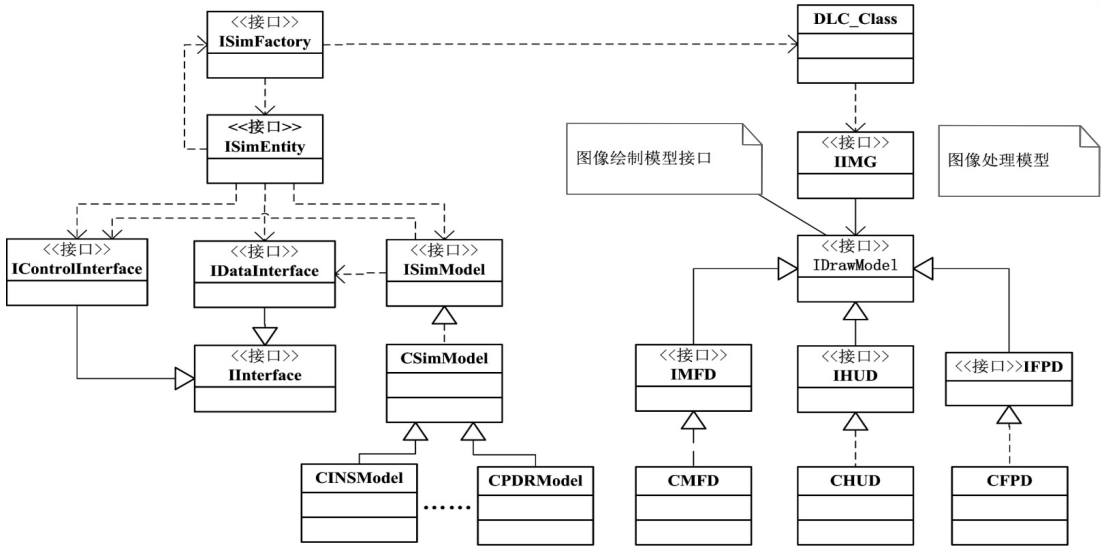


图 8 基于 XML 数据模型的仿真平台架构

依据飞机实体与模型之间、各航电仿真模型之间的数据控制关系和收发传输关系,在仿真平台架构下快速地实现实体装配(即模型之间的集成),就可以构建出某型飞机的仿真训练系统。通过平台可以实现系统的运行管理和实体(模型)的实时更新、调度、删除等。

5 结束语

以想定任务需求作为系统仿真的驱动数据,对仿真资源、想定任务和实体资源进行结构化描述,形成了三层结构化数据模型和系统仿真资源库调用接口,利用 XML 数据模型建立有向树结构,在此基础上利用 XML 结构化嵌套语言^[17]对想定任务、仿真资源、实体资源进行了系统性的描述,形成了系统性接口文件,可以用于机载航电系统仿真模型平台的建设。最后,根据有向树结构的特点和 XML 语言的特点,以节点和元素为基本单元,给出了 XML 文件数据访问的操作函数定义,可以作为机载航电系统仿真模型建设平台的基本资源。该方法用于机载航电系统仿真平台的建设将很大程度上提高仿真模型资源的重用性和共享性,提高系统开发的效率和可靠性。

参考文献:

[1] 伊恩·莫伊尔,阿伦·西布里奇. 飞机航空电子系统[M]. 支超有,秦成,译. 北京:国防工业出版社,2015.

[2] 陆虎敏. 飞机座舱显示与控制技术[M]. 北京:航空工业出版社,2015.

[3] 况旭,刘波. XML 的面向对象语言特征[J]. 计算机技术与发展,2010,20(1):54-57.

[4] CALVANESE D, DE G G, LENZERINI M. Representing and reasoning on XML documents: a description logic approach[J]. Journal of Logic and Computation,1999,9(3):

295-318.

[5] BIDOIT N, COLAZZO D, MALLA N, et al. Evaluating queries and updates on big XML documents[J]. Information Systems Frontiers,2018,20(1):63-90.

[6] 陈德华,韩忠明,乐嘉锦. 基于相似性分析的软件构件聚类研究[J]. 小型微型计算机系统,2005,26(12):2207-2211.

[7] 赵瑞芳,刘科,杨红丽,等. 基于模型检查的 XML 树模式优化动作生成[J]. 计算机应用与软件,2017,34(3):45-53.

[8] 樊延平,钟海波,鲁鹤松,等. 面向实体的仿真想定结构化描述方法[J]. 装甲兵工程学院学报,2012,26(4):69-72.

[9] 杨晶,周双娥. 一种基于 XML 的非结构化数据转换方法[J]. 计算机科学,2017,44(11A):414-417.

[10] 胡鹏,沈建京,吴善明. 面向语用的仿真组件形式化建模及组合技术研究[J]. 计算机应用研究,2015,32(9):2697-2701.

[11] 蒲小勃. 现代航空电子系统与综合[M]. 北京:航空工业出版社,2013.

[12] 柳寒冰,宿红毅,柴旭东,等. 基于 XML 仿真资源库的研究与实现[J]. 系统仿真学报,2009,21(22):7135-7138.

[13] CHEN X, YAN L, LI W, et al. Reengineering fuzzy spatiotemporal UML data model into fuzzy spatiotemporal XML model[J]. IEEE Access,2017,5:17975-17987.

[14] BAI L, LI Y, LIU J. FSPTwigFast: holistic twig query on fuzzy spatiotemporal XML data[J]. Applied Intelligence, 2017,47(4):1224-1239.

[15] NIEWERTH M, SCHWENTICK T. Reasoning about XML constraints based on XML-to-relational mappings[J]. Theory of Computing Systems,2018,62(8):1826-1879.

[16] 霍颖瑜,马莉,刘英,等. 一种社交网络环境下的数字权利保护模型[J]. 计算机工程,2018,44(5):133-139.

[17] BAI L, CAO X, JIA W. Uncertain spatiotemporal data modeling and algebraic operations based on XML[J]. Earth Science Informatics, 2018,11(1):109-127.