

doi: 10.7690/bgzdh.2018.07.008

交互式 3D 技术与 IETM 的集成及应用

卜昭锋¹, 杜晓明¹, 刘斌¹, 张彩红²

(1. 军械工程学院装备指挥与管理系, 石家庄 050003; 2. 石家庄机械化步兵学院, 石家庄 050085)

摘要: 为推进装备保障信息化建设, 将交互式 3D 技术用于交互式电子技术手册 (interactive electronic technical manual, IETM)。通过交叉引用将 3D 格式的多媒体对象插入 IETM, 利用 ActiveX 技术建立基于 IETM 的 3D 显示平台, 利用应用程序接口直接获取 3D 对象的子对象信息, 使 IETM 可以对场景内的 3D 对象进行交互操作, 使 3D IETM 的交互形式得以扩展, 使 IETM 具备了桌面级虚拟训练能力。结果表明: 通过 3D IETM 的应用, 使依托 IETM 组织培训进行装备交互式训练的效率和效果更加突显, 能拓展 IETM 的功能。对 IETM 集成 SCORM 标准和 xAPI 标准, 使 IETM 具备跨平台的互操作性。

关键词: 交互式电子技术手册; 交互式 3D 技术; S1000D 标准; Web3D; X3D/VRML; xAPI

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Integration and Application of Interactive 3D Technology and IETM

Bu Zhaofeng¹, Du Xiaoming¹, Liu Bin¹, Zhang Caihong²

(1. Department of Equipment Command & Management, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;
2. Shijiazhuang Mechanized Infantry Academy, Shijiazhuang 050085, China)

Abstract: To promote the construction of equipment support informatization, use interactive 3D technology for interactive electronic technology manual (interactive electronic technical manual, IETM). The 3D multi-media object is inserted into the IETM by cross-referencing, and the 3D display platform based on IETM is established by using ActiveX technology. The sub-object information of the 3D object can be directly obtained by using the application program interface so that the IETM can interact with the 3D objects in the scene. The interactive form of 3D IETM is extended to enable IETM to have desktop-level virtual training capabilities. The results show that, through the application of 3D IETM, the efficiency and effect of the equipment interactive training based on IETM organization training are more obviously, and the function of IETM can be expanded. Integration of SCORM standards and xAPI standards for IETM enables IETM to cross-platform interoperability.

Keywords: IETM; interactive 3D technology; S1000D standard; Web3D; X3D/VRML; xAPI

0 引言

随着装备信息化建设的推进, 装备的结构、构造复杂, 技术应用广, 信息化程度高, 使用、维护日益困难, IETM 的使用给装备保障带来了便利, 在很大程度上提高了装备的维修保障效率。当前的 IETM 大多采用 S1000D 标准。S1000D 标准是一项技术出版物的国际规范, 在全世界范围内应用非常广泛, 适用于所有武器装备、民用交通工具和设备的 IETM, 相对于其他标准, 具有明显的优势^[1-2]。随着 Web3D 技术的快速发展, 基于 Web 的交互式 3D 技术应用于 IETM 已成为趋势, 可以使用户更加生动、形象地去观察和操控装备, 了解装备的内部构造和技术机理, 提高了装备的维修保障效率。同时, 3D IETM^[3]用于培训和训练, 不仅可以缩短培训周期、提高训练质量, 也节约了经费和对实装的损耗, 使操作人员和维修保障人员不再受时间、场

地和环境等条件的影 响^[4]。基于此, 笔者主要对基于 S1000D 标准的 IETM 与交互式 3D 技术的集成方法, 及交互式 3D 模型在 IETM 中的应用进行研究。

1 基于 S1000D 的 IETM 数据模型分析^[5-8]

S1000D 标准采用了模块化设计思想, 将数据信息和技术资料内容以数据模块和信息对象的形式存储在公共源数据库 (common source data base, CSDB) 中, 用来保证 IETM 实例间的信息共享及数据交换, 其核心是数据模块 (data module, DM)。数据模块被定义为独立信息单元, 并且包含用于平台、系统或组件的描述性、程序性或可操作性的数据, 可通过数据模块代码作为标识符从 CSDB 中存储和检索。目前, 最新的 S1000D 标准是 4.2 版, 数据模块主要采用 XML Shcema, 其用来控制 XML 实例中元素的显示顺序, <dmoudle>元素是顶层元素, 包含了所有的数据模块类型。Shcema 还定义了属性和

收稿日期: 2018-02-28; 修回日期: 2018-04-05

作者简介: 卜昭锋(1985—), 男, 河北人, 硕士, 从事装备保障信息化研究。

实体的规则，并提供了描述有效数据单元的数据类型约束。

所有的数据模块均由标识状态段 (identification and status section, IDSTATUS) 和内容段 (content section, CONTENT) 2 部分组成，如图 1 所示。标识状态段用<identAndStatusSection>元素标示，提供了管理和控制数据模块的标识和状态信息，以及整个数据模块内容的安全性、质量和技术状态等信息。内容段用<content>元素标示，是数据模块的内容数据信息，不同类型的数据模块有不同结构的数据模块信息类型。

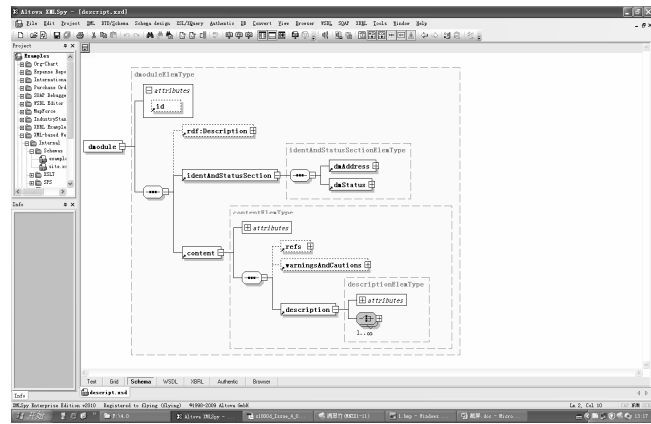


图 1 数据模块的结构

结构化信息类型中,<fmftElemGroup>元素集包含<figure>、<multimedia>、<foldout>和<table>元素，用来统一管理图形、多媒体、插页和表格等。S1000D 4.2 还增加了<figureAlts>和<multimediaAlts>元素，这 2 个元素又分别包含<figure>和<multimedia>元素，用于交互替换图形和多媒体对象，如图 2 所示。

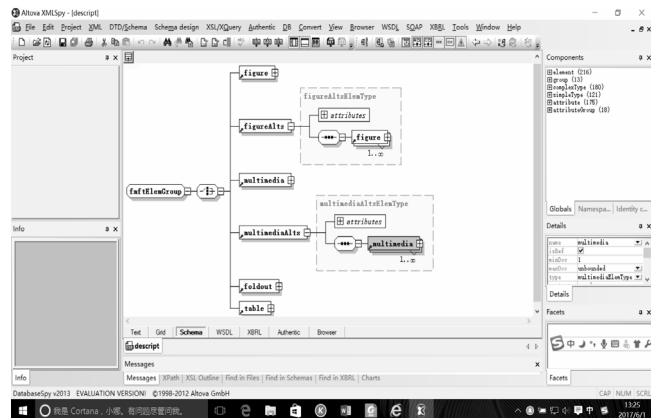


图 2 fmftElemGroup 元素集结构

<multimedia>元素包含多媒体内容，其子元素<multimediaObject>则包含了多媒体对象参数的详细信息，如图 3 所示。其中，<multimediaObject>元素

的属性 multimediaType 指定了多媒体对象的类型，包括“3D”“audio”和“video”等，<parameter>元素及其属性用于向多媒体场景中的对象传递参数，而这些参数可控制或捕获来自对象的行为和事件。

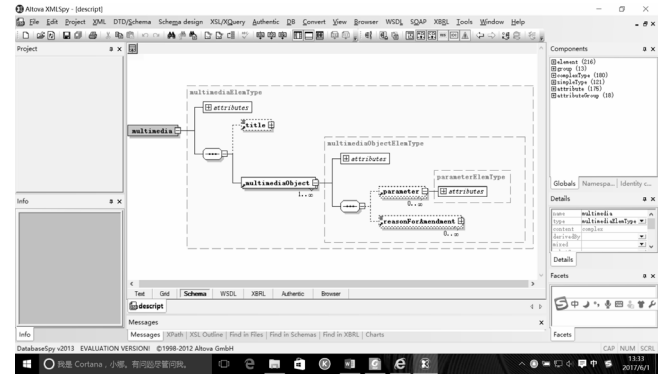


图 3 multimedia 元素结构

2 X3D/VRML 标准 3D 模型的数据结构分析

Web3D 技术是虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术的一种实现形式，属于桌面级的非沉浸式虚拟现实，由虚拟现实建模语言 (virtual reality modeling language, VRML) 发展而来，并制定了可扩展 3D (eXtensible 3D, X3D) 这个新的国际标准。目前 Web3D 技术除了 X3D/VRML，常见的还包括 Cult3D、Viewpoint、Java3D、Virtools、ShockWave3D 等^[9]。虽然这些 3D 技术所遵循的标准、采用的格式和方法不尽相同，但是其实现技术主要是 3 维建模技术、显示技术和 3 维场景中的交互技术。

S1000D 标准没有强制或推荐任何特定 3D 数据格式，但是对 3D 数据纳入 IETP 项目明确了具体的原则，对 3D 数据内容的开发和生成、生产和交付、显示、交互以及颜色等提出了相关要求。随着 Web3D 技术的快速发展，轻量化的 3D 模型可以快速被加载，以满足用户的需求。

VRML 是一种用于建立真实世界的场景模型语言，能创建和展示基于 Web 的 3 维虚拟环境，是第二代的 Web 语言，也是一种国际标准。X3D 是一种轻量级的 3 维图像标记语言，基于 XML 格式开发，保留了“Classic VRML”编码，沿袭了 VRML97 的节点、域和域值的结构，是对 VRML 的继承^[10]。

X3D/VRML 标准 3D 模型的文件格式主要有：.x3d X3D XML 编码；.x3dz gzip 压缩的 X3D XML 编码；.x3dv X3D VRML classic 编码；.x3dvv gzip 压缩的 X3D VRML classic 编码；.wrl 非压缩或 gzip 压缩的 VRML97 格式等^[11]。其文件的基本结构如图 4 所示。

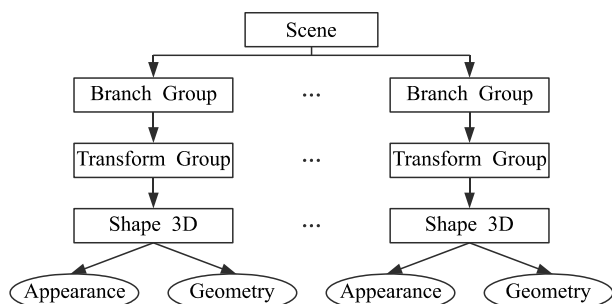


图 4 X3D/VRML 文件基本结构

3 交互式 3D 技术与 IETM 的集成

3.1 交互式 3D 模型与 IETM 集成分析^[5]

目前，IETM 基本以描述性文本、2 维图表及视频、动画的形式呈现给用户，交互形式较为单一，已经渐渐不能满足用户的技术需求。对于交互式 3D 内容的使用，S1000D 没有具体的技术解决方案，但给出了项目业务规则中的技术解决方案。一个技术解决方案是：

- 1) 3D 格式或版式，由项目的 IETP 和其他系统支持；
- 2) 传递给 CSDB 的 3D 对象，要有精确的技术规范；
- 3) 传递给 CSDB 的 3D 对象，遵守项目允许的格式；
- 4) 最终用户功能的规范，由 3D 查看软件实现；
- 5) 发布过程。

在考虑 3D 数据的整个生命周期时，对支持格式或版式的选择对 3D 实现起着重要作用。项目在使用 3D 内容之前，选择和记录完整的技术解决方案，以及决定 IETP 查看软件。在做出选择时必须考虑的主要标准有：

- 1) 长期支持数据格式、创作和查看软件；
- 2) 与项目中使用的 PLM 和 CAD 的兼容性；
- 3) 与最终用户客户端上的预期查看资源的兼容性；
- 4) 更新和配置管理方法。

S1000D 标准中指出，所有的交互式 3D 内容必须按照多媒体示例集进行制作。交互式 3D 模型在满足技术方案及相关标准要求后，以多媒体对象的形式插入到 IETM，通过交叉引用，`<multimediaobject>` 元素实现与 3D 模型的链接，`<parameter>` 元素通过“id”属性标识多媒体对象中的对象，直到“parameterIdent”和“parameterName”的属性值被辨认。示例如下：

```

<multimedia>
  <multimediaObject
    autoPlay="0" infoEntityIdent=
      "ICN-S1000DBIKEAAA-D000000-0-SF518-
      00538-A-001-01"
    multimediaType="3D"
    showPluginControls="hide" fullScreen="0"
    multimediaObjectHeight="300"
    multimediaObjectWidth="300">
    <parameter id="prm-0001" parameterIdent=
      "param001" parameterName="车架"/>
  </multimediaObject>
  .....
</multimedia>
  
```

3.2 集成过程^[12-15]

交互式 3D 技术可以对装备进行直观、逼真的描述，在 3D 场景中立体地展现出来，并可以 360° 全视角的观察装备，与之进行交互。交互式 3D 技术与 IETM 的集成，可以使 IETM 拥有 3D 交互能力，能够更加直观、逼真地将装备的结构、构造和技术机理呈现出来，更加生动形象地为装备使用人员和维修人员进行实时培训和交互式训练等。

3.2.1 3D 场景的建立

3D 场景主要定义为一组 3D 对象。每个 3D 场景还必须包含一组观察条件，用于场景的初始显示。在 IETM 中建立的 3D 场景包括视点、灯、位置变换、运动路径、运动学和动画等信息。目前，用于显示 3D 模型的浏览器较多，X3D/VRML 标准 3D 模型的浏览器主要有 BS Contact，Cortona3D Viewer，H3D Viewer，Cobweb X3D 和 OpenVRML 等，可以通过编程语言将 3D 浏览器以 ActiveX 插件的形式嵌入到 IETM 制作系统，在 IETM 中建立 3D 场景，显示 3D 内容，利用 3D 浏览器的功能对场景中的对象进行交互操作。

3.2.2 交互式 3D 模型的制作

Cortona3D 软件是一组功能强大的、交互式的 3 维可视化仿真工具，能直接重用现有 CAD 数据和其他 3 维资源，将 3 维 CAD 产品数据加工、转换，并进一步编辑为交互式的 3D 模型。首先，利用 3D 制作软件（如 VRML、Cult3D、Viewpoint、Virtools 等）制作 3D 模型或对已有的 3 维 CAD 数据进行加工转换，输出为“wrl”格式 3D 模型，而后通过 ParallelGraphics 公司的 Cortona3D 软件进行格式转

换, 输出 IETM 可用的交互式 3D 模型, 如图 5 所示。

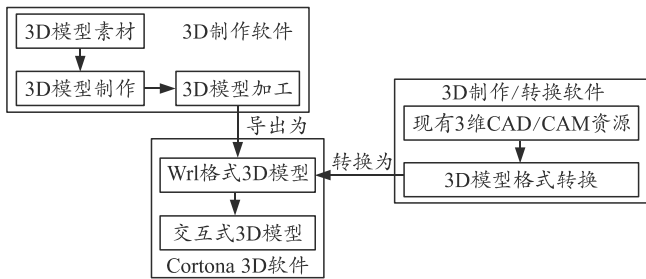


图 5 交互式 3D 模型的制作步骤

3.2.3 交互式 3D 模型的嵌入

X3D 由于使用 XML 编码, XML 的文档对象模型 (document object model, DOM) 自动为 X3D 提供一组应用程序接口, 外部应用程序可以通过 DOM 解析 X3D 文件。3D 模型以多媒体对象的形式插入到 IETM 数据模块后, IETM 创作系统通过 3D 浏览器插件显示交互式 3D 模型。

同时, ParallelGraphics Cortona 提供了 VRML 自动化接口和脚本, 并为所有接口和对象的每个属性、方法和事件提供了编程语言语法符号, 使开发人员能够利用接口直接获取 3D 模型的零部件信息, 通过元素 <parameter> 的 “id” 属性区分标识。集成过程如图 6 所示。

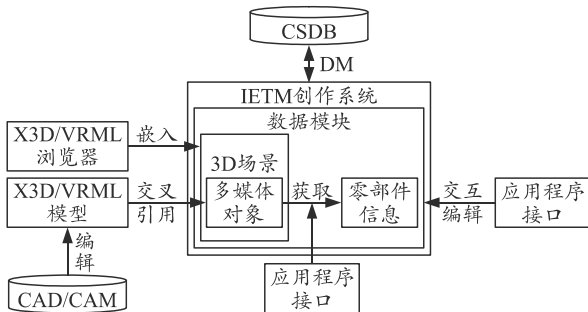


图 6 集成过程

4 交互式 3D 技术在 IETM 中的交互形式

3D 模型插入 IETM 后, 除了交互式 3D 模型自身的交互形式, 还可以为 3D 模型添加引用或热区, 就像使用 CGM 图形一样在 IETM 中建立与 3D 模型的交互。编辑人员则可以根据用户的需求, 编辑基于 3D 模型的各种数据模块。

4.1 3D 模型与数据模块的交互

通过为 3D 对象添加外部引用或为 3D 对象的子部件添加热区, 可以链接到其他的数据模块, 阅读完毕后返回原数据模块。例如, 在 IETM 中, 可以为装备及其子部件建立数据模块, 并为场景内装备的各部件添加引用, 通过数据模块间的外部引用建

立装备与子部件数据模块间的链接, 点击场景内装备某部件, 可以引用对应子部件的数据模块, 组织对该装备的学习培训。

4.2 3D 模型与数据模块内文本、插图的交互

IETM 数据模块中, 通过为 3D 对象或其子部件添加热区, 可以链接到相应的文本信息、图形、图表、照片及其零部件目录。

1) 3D 模型与描述性信息的交互。点击 3D 对象或其子部件, 可以直接链接到相应的描述性信息位置; 点击数据模块内的描述性信息, 可以自动定位到 3D 模型或相应子部件的位置, 如图 7(a)所示。

2) 3D 动画与操作步骤的交互。点击装备的操作步骤, 可以直接在 3D 动画中定位至该步骤所对应的播放位置, 并播放至该步骤结束时暂停; 也可以用鼠标点击 3D 动画的播放位置, 链接到对应的操作, 并改变背景颜色突出显示, 如图 7(b)所示。

3) 3D 模型与图形、图表、照片的交互。点击 3D 对象或其子部件, 可以链接到对应的图解、图表或照片等, 相反也可以链接到 3D 对象, 用于 3D 模型与 2 维图形的对照, 如图 7(c)所示。

4) 3D 模型与零部件目录的交互。点击 3D 对象中的零部件, 定位至零部件所在目录中的位置, 并改变背景颜色突出显示; 点击零部件目录中的零件, 也可以直接定位到 3D 模型中相应零部件, 并通过设置颜色高亮显示, 如图 7(d)所示。



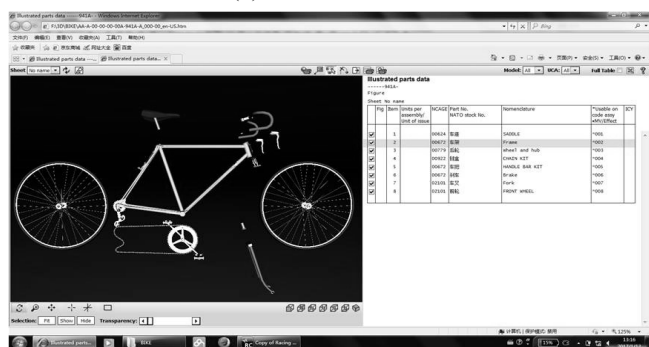
(a) 与描述性文本的交互



(b) 与操作步骤的交互



(c) 与图形的交互



(d) 与零部件目录的交互

图 7 3D 模型与数据模块内文本、插图交互

4.3 3D 模型与子部件的交互

在场景内, 可以通过为 3D 对象的子部件添加热区, 实现 3D 对象与各子部件的交互。例如, 装备的拆装过程, 通过点击场景中装备的子部件, 实现在场景内对装备拆装, 在操作过程中, 通过警示框、提示框, 提醒操作人员需要注意的问题, 如图 8 所示。

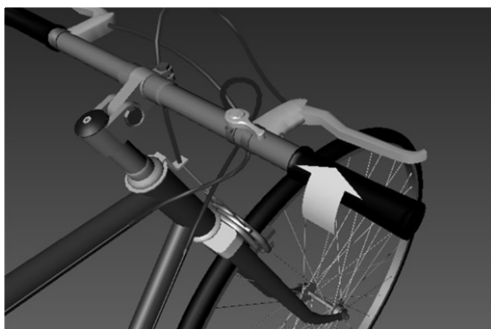


图 8 拆下握把

5 结束语

IETM 是装备信息化建设的重要组成部分, 交互式 3D 技术的应用增强了 IETM 的功能, 使交互性进一步增强, 显示效果更加直观、逼真。笔者重点对交互式 3D 技术与 IETM 的集成及在 IETM 中的应用进行了介绍, 使交互式 3D 技术能够用于 IETM。通过交互式 3D 技术在 IETM 中的应用, 使

依托 IETM 进行装备的桌面级虚拟训练成为现实。相对于传统的培训方式, 使用 3D IETM 组织对装备的培训具有明显的优越性, 可以显著提高培训效率。同时, 依托 3D IETM 组织对装备的交互式训练, 也为操作人员提供了一种新的训练手段, 可有效解决装备训练费效比低的问题。

IETM 属于基于计算机的训练 (computer-based training, CBT), 与共享内容对象参考模型 (sharable content object reference model, SCORM) 标准的集成可以解决跨平台的互操作性, 数据模块的可重用性以及追踪受训人员的学习记录, 适用于学习管理系统 (learning management system, LMS)。SCORM 标准已经较为成熟, 随着人们对 E-Learning 需求的拓展, SCORM 标准也暴露出一定的局限性, 比如受限于跟踪课程的组件且依赖于 JavaScript。ADL 针对 SCORM 标准的局限性, 制定了新的技术标准 xAPI^[16] (Experience API)。该标准描述了任何软件与系统的接口, 支持更多样化的平台, 被称为“下一代 SCORM”, 但在技术上, SCORM 不被 xAPI 替代, 可以共存, 一起工作。xAPI 将人机 (和机器) 可读“活动流”应用于跟踪数据, 并提供子 API 来访问及存储关于状态和内容的信息。这使得可以从任何平台或软件系统获取动态跟踪活动。SCORM 标准、xAPI 标准与 IETM 的集成, 将使 IETM 的互操作性更强, 适用于更多平台, 势必提升基于 IETM 培训的效率。

参考文献:

- [1] 朱兴动. 武器装备交互式电子技术手册-IETM[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 56-57.
- [2] 徐宗昌, 张光明, 李博. 基于 IETM 的装备交互式训练研究[C]. 三亚: 中国系统仿真技术与应用会议, 2012: 670-673.
- [3] 朱宁, 杜晓明, 梁波. IETM 的研究与发展[J]. 兵工自动化, 2008, 27(11): 20-22.
- [4] 徐宗昌. 基于 IETM 的虚拟培训系统框架研究[J]. 中国电子科学学院学报, 2010, 10(7): 103-107.
- [5] 杜晓明, 梁伟杰, 朱宁. 交互式电子技术手册原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 105-113.
- [6] 马丙展. 基于 S1000D 规范的 IETM 生成技术研究与应用[D]. 北京: 北京工业大学, 2015: 11-13.
- [7] WAN Z J. Study of Development IETM Based on S1000D Specification[C]. GuiLin, Proceedings of the 3rd International Conference on Digital Manufacturing & Automation, 2012: 270-273.
- [8] S1000D. International Specification for Technical Publications CSDB objects - Multimedia(Issue 4.2)[S].

ASD/AIA/ATA, 2016.

[9] 薛庆文. 虚拟现实 VRML 程序设计与实例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012: 186-202.

[10] 谢文达. 采用 X3D/VRML 建构虚拟校园的研究[J]. 福建电脑, 2013, 29(2): 139-140.

[11] ARMY R L, ADELPHI M D. Computational and Information Sciences Directorate. Dynamically Generated Nodes and Links for a Dynamic Network Structure Using X3D[R]. America: US government work report, 2009: 278-279.

[12] 朱兴动, 黄葵, 王正. 交互式 3D 仿真技术与 IETM 的集成[C]. 合肥: 中国系统仿真技术与应用会议, 2007: 575-578.

[13] NAVAL P S, MONTEREY C A. Modeling Virtual

Environments and Simulation. Finding the Sweet Spot: Bridging X3D, S1000D, and SCORM for Embedded Performance[R]. America: US government work report, 2010: 1372-1375.

[14] FONG J, CHEUNG S K, SHIU H. The XML Tree Model-toward an XML Conceptual schema reversed from XML Schema Definition[J]. Data Knowledge Engineering, 2008, 64(3): 624-661.

[15] ZHANG J, ZHANG J, ZHAO H Y. IETM Database Design Based on Native XML Database Technology[J]. Advanced Materials Research, 2014: 1624-1627.

[16] 李青, 孔冲. 下一代 SCORM 标准的新动向: ADL TLA 和 Experience API 解读[J]. 电化教育研究, 2013, 33(8): 61-67.

(上接第 10 页)

[4] 车延连, 闫耀祖. 火力筹划论[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009: 56-60.

[5] 高美峰, 周为远, 叶玉丹. 基于信息系统联合作战指挥流程优化的着眼点[J]. 指挥学报, 2015(4): 97-100.

[6] 张志伟. 陆军火力战[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009: 75-76.

[7] 江龙. 基于信息系统联合作战决策流程问题研究[J]. 国防大学学报, 2015(8): 77-78.

[8] 秦永刚. 指挥工程化: 从信息到手段再到模式的整体嬗变[M]. 北京: 国防大学出版社, 2010: 59-60.

[9] 曹彦, 李雄. 基于 UML 的陆军信息火力战概念建模[J]. 兵工自动化, 2016, 35(1): 79-82.

(上接第 15 页)

4 结束语

应用结果表明: 轻武器产品新型的研制模式已经基本成型, 并在逐步替代原有模式, 在产品研制中发挥着重要作用。

参考文献:

[1] 李飞, 章乐平, 王志勇, 等. 航天器数字化协同设计技术研究[J]. 导弹与航天运载技术, 2013, 324(1): 71-74.

[2] 秦红强, 王猛, 杨亚龙, 等. 液体火箭发动机 3 维数字化协同设计研究[J]. 火箭推进, 2016, 42(3): 76-80.

[3] 王秋雨, 孙家利, 董庆文, 等. 武器装备型号研制中标准化工作[J]. 兵工自动化, 2017, 36(7): 58-59.

[4] 付广磊, 王仲奇, 吴建军, 等. 飞机设计制造协同流程的研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(4): 24-30.

[5] 亓江文. 基于 MBD 技术的设计制造并行协同新模式探索与实践[J]. 航天制造技术, 2016(5): 99-104.

[6] 吴宏超, 刘治红, 吴跃. 面向军工装备制造企业的生产现场数据采集与智能监控系统[J]. 兵工自动化, 2017, 36(1): 22-27.

[7] 魏志芳, 王芳, 李晓光, 等. 枪_弹等多领域协同设计系统构建[J]. 南京理工大学学报, 2016, 40(2): 156-164.

(上接第 32 页)

[10] 屠善楹. 卫星姿态动力学与控制(2)[M]. 北京: 国宇航出版社, 2005: 172-176.

[11] 唐超颖, 沈春林. 滑模变结构控制在航天器姿态控制系统中的应用[J]. 兵工自动化, 2004, 23(1): 1-3.

[12] 王松艳, 杨明, 史小平. 空间拦截器姿态控制系统变结构控制规律研究[J]. 航天控制, 2002, 20(1): 41-46.

[13] 钱杏芳. 导弹飞行力学[M]. 北京: 北京理工大学出版

社, 2006: 110-113.

[14] PHILLIPS C, MALYEVAC S. Pulse Motor Optimization Via Mission Charts for an Exo-atmospheric Interceptor[C]. AIAA-97-3687, 1997.

[15] 刘世勇, 吴瑞林, 周伯昭. 大气层外拦截器单轴定向姿态控制律[J]. 飞行力学, 2005, 23(3): 70-74.

[16] 王亮, 周剑波, 李璞, 等. 战术导弹内部分支结构动力学建模[J]. 兵器装备工程学报, 2017(5): 18-21.