

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.10.016

航天发射场综合环境数据表示与交换方法^{*}

陈 思¹, 刘泽新², 梁浩哲^{3,**}

(1. 电子科技大学 自动化工程学院, 成都 610036; 2. 总装备部 陆军装备科订部, 北京 100000;
3. 西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000)

摘 要:综合环境数据表示与交换标准(SEDRI)是实现航天发射场异构系统间环境数据共享与复用的基础。在航天发射场综合环境概念的基础上,系统地阐述了典型的环境要素信息以及它们与发射场之间的关系,总结了发射场综合环境数据表示与交换的需求。应用 SEDRI 机制中数据生产与消费的标准化过程,提出了航天发射场综合环境数据表示与交换方法。以控制分系统为背景,阐述了环境数据需求分析、环境数据映射方法以及 SEDRI API 集成 3 个主要的关键技术。

关键词:航天发射场; SEDRI; 综合环境数据; 建模与仿真

中图分类号:V55; TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)10-1336-07

Representation and Interchange Method for Synthetic Environment Data of Aerospace Launch Sites

CHEN Si¹, LIU Ze-xin², LIANG Hao-zhe³

(1. School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610036, China;
2. Army Equipment Science Research Purchase Department, PLA General Equipment Department, Beijing 100000, China;
3. Xichang Satellite Launching Center, Xichang 615000, China)

Abstract: Synthetic environment data representation and interchange specification(SEDRI) is the base to realize the environment data sharing and reuse between heterogeneous systems of aerospace launch sites. Based on the concept of aerospace launch sites synthetic environment, the typical environment elements and their relationship with the launch sites are systematically described. Then the requirements of synthetic environment data representation and interchange are summarized. With the application of data production and consumption in the SEDRI mechanism, the method of the aerospace launch synthetic environment data representation and exchange is proposed. Taking the control subsystem for example, the three key technologies called environmental data analysis, data mapping method, and SEDRI API embedded are researched.

Key words: aerospace launch site; SEDRI; synthetic environment data; modeling and simulation

1 引 言

当前,科学研究与工程实施已经进入以数据为中心的时代,高效的数据表示与交换过程是数据策略得以实现的基础。在航空航天领域,发射场的建设、使用、维护以及后续任务的实施与所在地区的自然环境信息关系密切,自然环境数据的流通保障是

高效率、高可靠性的发射场所必须具备的必要条件^[1-2]。因此,建立标准化的发射场综合环境数据表示与交换机制对提高自然环境数据的利用效率,同时辅助发射场设备设施管理员、航空航天任务指挥员清晰地了解其关心的环境保障数据、及时地作出科学决策具有十分重要的意义。

航天发射场工程与自然环境因素的关系已有大

* 收稿日期:2013-07-01;修回日期:2013-08-22 Received date:2013-07-01;Revised date:2013-08-22
** 通讯作者:lianghaozhe@hotmail.com Corresponding author:lianghaozhe@hotmail.com

量相关研究^[3-5]。针对种类繁多、复杂的环境数据集,其表示方法需要能够全面、准确地表示其语义结构,即方法需要针对发射场的整个综合环境;而对于环境数据交换,目前发射场的测发、指控、气象等各分系统已经可以在网络中完成数据的交互传递^[6],但子系统之间的兼容性差异却导致了较低的数据接收与处理效率,因此需要一种更加高效的数据交换策略。在战场仿真、综合电子信息系统、环境数据库等领域,综合环境数据表示与交换方法的标准化已经取得了大量研究成果^[7-9],但专门针对航天发射场环境数据表示与交换的研究仍然较少。

针对以上论述的问题与需求,本文系统地归纳了航天发射场自然环境制约要素,提出了发射场综合环境数据表示与交换过程的具体要求。通过分析综合环境数据表示与交换标准(Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification, SEDRIS),提出了航天发射场综合环境数据表示与交换方法。

2 航天发射场综合环境

目前,在相关研究中还没有专门对航天发射场综合环境概念的统一表述,通过与建模仿真领域中虚拟作战空间环境概念的归纳对比,本文定义航天发射场综合环境的概念如下。

概念 1:航天发射场综合环境涵盖在发射场空间之下。发射场空间是影响整个发射场地面、箭上、发射轨道区域的测试发控系统、气象、海洋、大地和电磁环境的总称。而其综合环境将发射场空间中的地理信息环境、自然现象要素环境以及实体系统集成环境有机地结合起来,形成一个动态的整体。

发射场建设过程中,设计专家具体地分析了一类或多类自然要素对于发射场的影响。但系统性的环境分析的缺乏则限制了环境数据表示与交换方法的研究。因此,首先归纳并分析环境要素集是必要的。

2.1 航天发射场综合环境因素

在概念 1 中,广义范围的航天发射场综合环境要素包括了测试发控各分系统、气象信息、海洋信息、大地信息以及电磁信息等多个构成环节。表 1 归纳了部分航天发射场自然环境要素以及它们对发射场的影响举例。温度、湿度、日照、雷电、风与雾可以归属为气象信息类别。在不同的发射场区,其数值范围会有较大的差异,这也是不同类型航天发射场的建设与环境信息紧密相关的体现。与之类似,发射场与海洋、大地、电磁环境数据也具有紧密联系。

表 1 航天发射场综合环境要素 Table 1 The synthetic environment elements of aerospace launch site		
环境要素名	要素概览	影响举例
温度	西昌年平均温度 17℃;文昌年平均温度 24.1℃;酒泉年平均温度 8.5℃。	高温环境会使电子设备可靠性降低。
湿度	西昌相对湿度 58% ~ 65%;文昌相对湿度 88.1%;酒泉相对湿度 35% ~ 55%。	易使绝缘材料受潮,降低光学仪器的可靠性指数。
日照	西昌平均太阳辐射为 5 600 MJ/m ² a;文昌平均太阳辐射为 5 800 MJ/m ² a;酒泉平均太阳辐射为 6 300 MJ/m ² a。	加速设备老化,缩短表面涂层的化学物质寿命。
雷电	西昌夏季雨季易出现雷暴现象,海南岛大部分沿海地区雷暴频率较高。	发射任务遭遇雷电天气,可以损毁航天器,使得发射任务失败。
降水	西昌平均年降水量 1 004.3 mm;文昌平均年降水量 2 361 mm;酒泉平均年降水量 300 mm。	强降水可使外接插头、电缆进水,严重影响航天器测试任务。
风	包括地面大风、热带气旋等类型。	对航天器正常瞄准不利,对航天发射场建筑物结构、安全不利。
雾	包括海雾、盐雾等类型。	影响航天器的正常运输,同时对航天器正常导航产生影响。
海洋	包括水位、海流、海浪、潮汐、海底地形地质等诸多构成要素。	对近海、低海拔的航天发射场产生安全威胁。
电磁环境	包括雷达信号及由于大气、霾、雾、晕等气象因素的激光反射产生的电磁效果。	产生航天器的升空、制导的安全威胁。

2.2 航天发射场综合环境数据表示与交换要求

通过归纳性地阐述航天发射场环境要素集可以看出,发射场综合环境具有一个立体、多态的复杂体系结构,其数据在不同测试发控分系统之间必须具备自由流通的能力,以保障不同类型的测试与发射任务顺利完成。因此,实现异构系统间环境数据共享与环境数据复用是实现其表示与交换方法的中心要求(如图 1 所示)。

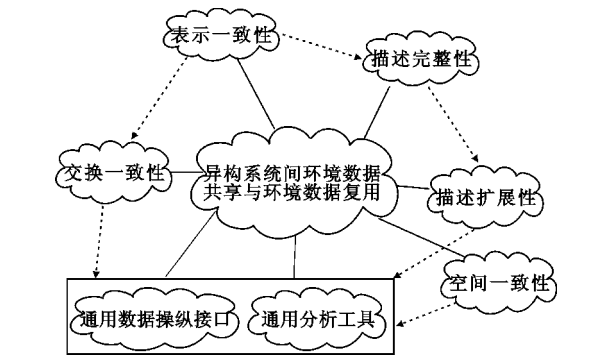


图 1 环境数据表示与交换要求
Fig. 1 Requirements of environment data representation and interchange

在共享、复用这一中心要求的基础上,从数据表示一致性这一特征出发(如图 1 中虚线所示),完整性、扩展性以及数据的灵活操纵等是方法必须具备的重要特征。

(1)表示一致性

环境数据的规范化表示是发射场异构系统、系统间、用户可以灵活获取、传输、理解环境数据的基础。

(2)交换一致性

为使各异构系统间能够适应环境数据的变化,建立统一的交换机制可以极大地降低分系统特定应用程序的开发成本。

(3)描述完整性

环境数据表示一致性要求环境数据表示与交换方法必须能够适应环境数据的复杂性特征,能够描述完整的航天发射场环境要素集。

(4)描述扩展性

针对复杂多变的环境,一次性实现环境数据的描述完整性需求并不实际。因此,要求环境数据的描述手段具有良好的扩展性,以便适应新的表示需求。

(5)空间一致性

针对环境数据的空间本质,如何在不同的空间参考框架下实现环境数据的快速变换是必要的。

(6)通用分析工具

在建立好环境数据表示与交换模型后,应提供针对表示方法集、表示元数据集与交换机制集有效查询的特定工具。

(7)通用数据操纵接口

为发射场各个异构系统开发自定义的环境数据读写程序提供统一的嵌入接口。

3 基于 SEDRIS 的航天发射场综合环境数据模型

3.1 SEDRIS 的概念及体系结构

SEDRIS 规范是 20 世纪末由美国国防部 M&S 办公室、DARPA 等多个顶层立项机构联合发起的大型科研计划^[10-12]。SEDRIS 规范制定了一系列组织完整、功能强大的综合环境数据表示与交换标准,支持的数据类型集可以规范地建模地理信息、大自然现象以及环境中存在的实体模型等,以保障美国在与它国实施联合作战行动过程中的综合环境数据通畅交互操作。

SEDRIS 已纳入国际标准化组织 ISO/IEC 的正式国际标准体系中。从体系结构上看,SEDRIS 包括 5 个核心组成部件,分别是数据表示模型(Data Representation Model, DRM)、环境数据编码规范(Envi-

ronment Data Coding Specification, EDCS)、空间参考模型(Spatial Reference Model, SRM)、SEDRIS 应用程序编程接口(SEDRIS Application Interface, API)、SEDRIS 数据传输格式(SEDRIS Transmittal Format, STF)。其中 DRM 部件、EDCS 部件、SRM 部件为基本模型工具,而 API 部件、STF 部件主要面向应用级的用户程序实现。各部件的主要功能如表 2 所示。

表 2 SEDRIS 组织结构
Table 2 The infrastructure of SEDRIS

部件名称	功能介绍
DRM	核心部件,用于对环境数据进行基础的描述与建模。由大约 300 个类构成,是一种基于标准建模语言的通用环境描述结构。
EDCS	约等于元数据字典集,用于对环境数据描述过程中的类别、量纲等基本元素加以说明。具备很强的扩展性,可独立于 DRM 在其他系统中独立使用。
SRM	提供标准化的空间参考,用于专门对环境数据的地理信息加以描述、组织与变换。可独立于 DRM 在其他系统中独立使用。
API	为方便用户开发应用程序提供的标准接口。主要分为 DRM API、EDCS API、SRM API 3 类。
STF	综合环境数据传输的标准格式。

3.2 航天发射场综合环境数据的生产与消费

大多数战场仿真研究将综合环境模型视为一个可供不同军事应用系统共享的环境数据集及其附加属性(如图 2 中虚线所示复用式的环境数据模型)。在仿真过程中,综合环境模型产生环境效应与环境影响,而军事系统(如图 2 中虚线所示的系统模型)则不间断地使用这些数据,使得仿真研究的结果更加真实可靠。这一循环往替的过程称为环境数据的生产与消费。与之对应,航天发射场环境数据模型代表航天测试发控过程对环境数据的循环复用,可以利用战场仿真中的 SEDRIS 建模方法建立发射场的环境数据模型。

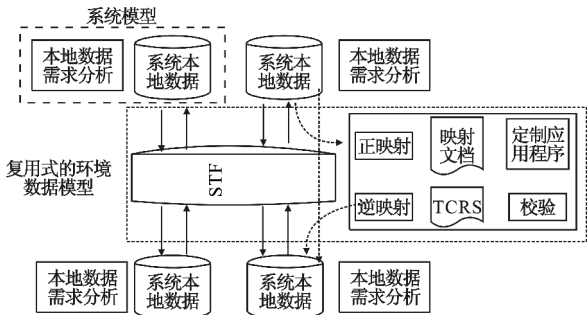


图 2 发射场环境数据生产与消费流程
Fig. 2 The process of aerospace launching site environment data production and consumption

SEDRIS 标准为建设底层环境数据模型提供指导。研究和使用 SEDRIS,即是实现环境要素数据生产和消费的双向过程。在图 2 中,可根据环境的数据流向划分为两个简单清晰的子过程:环境数据生产与消费。其中环境数据生产流程为如下所述。

(1)本地环境数据需求分析

在具体进行环境数据建模时,应当根据自身需求——例如必需的环境要素以及其层次结构,制定需求文档,这对后续的数据建模以及应用程序开发起极为重要的作用。

(2)建立基于 DRM 的数据映射文档

对于既定的数据内容,根据 SEDRIS 核心部件 DRM,生成环境数据表示与映射结构,这通常是一个重复的过程,最终产生合理的数据表示方式。

(3)本地应用程序的 SEDRIS API 函数嵌入

基于映射结构,应用程序开发者将调用 API 生成标准的 STF 格式文件。在这一过程中,用户可以根据自身需要产生关于文件的评估和校验机制,提供给中间交换媒介,以便其他系统使用。

(4)各类查询应用工具的调用

为了能够灵活、高效的建立基于 SEDRIS 的数据模型,在进行应用程序开发时可以嵌入 SEDRIS 组织提供的查询应用工具,例如 EDCS Query Tool 查询 EDCS 字典内容、Side-By-Side 查询 STF 文件内容等,这些程序已经在网络中共享。

而环境数据消费流程与生成流程的区别主要在于第 2 和第 3 点,即基于 DRM 的数据逆映射文档产生。从原理上讲两者并没有严格差异,逆映射主要利用 API 函数将生产方的 DRM 数据格式解析为本地数据。

4 航天发射场数据表示与交换过程

第 3.2 节定义了一个连续完整的发射场综合环境数据系统的开发过程。其中,步骤 1~3 是各子系统对应用程序开发过程的重点。本节将以控制分系统为背景,针对每一个步骤,从航天发射场的具体情况出发,阐述一个具体的发射场综合环境数据表示与交换过程。

4.1 综合环境数据需求分析

综合环境数据需求与各测试发控分系统所涵盖的环境空间和环境时间紧密相关。形成标准化的数据需求格式,需要测试系统工程师、专家的紧密参与。因此,综合环境数据需求分析是一个人机交互频繁的人在回路系统,而产生的环境数据需求文档

将对后续开发起指导规范作用。

图 3 定义了控制分系统的综合环境数据需求。这一需求建立在一次具体的任务周期内,形成了环境数据的层次结构。图 3 将航天发射测试任务分为 3 个不同的状态阶段,每一状态段涵盖了不同的试验时间段(如图 3 中时间段所示)。在每一时间段,控制系统关心当前时间 t_0 后 n 小时的气温预测。同时,为进一步提高对历史预测数据的利用,在提供气温数据时,会提供前两次的预测结果,这样可以加强试验人员对气温变化趋势的把握。因此, $t_0 = \{ t_0^1, t_0^2, t_0^3 \}$ 。

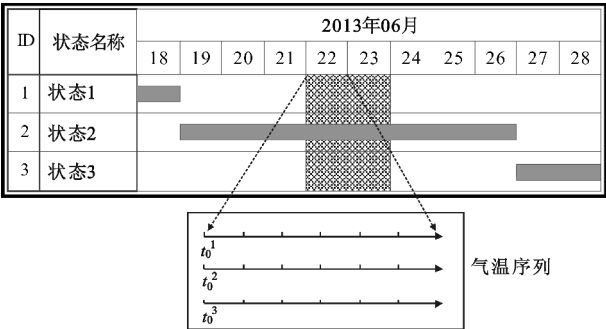


图 3 控制系统综合环境数据需求(状态时间结构)
Fig. 3 The environment data requirement of control system (state-time structure)

根据不同的预测数据,试验人员可以及时对燃料、电缆等关键设备进行保养。这一控制分系统的环境数据需求说明详细地建立了气温预测数据的层次结构,其中顶层为不同的状态阶段,向下为并列气温预测序列。在随后的部分中,将其称为状态-时间结构。

4.2 数据映射方法

数据映射方法即是利用 SEDRIS 核心部件 DRM 对定义好的综合环境数据需求形成面向对象式的描述。这一过程可以通过 DRM 所提供的 300 多个类加以实现。DRM 的类库结构是按照复杂的聚合、实现、关联等关系构成的,以完成对不同需求内容的环境数据集的完整、一致性描述。为了展示 SEDRIS 如何实现前文中状态-时间结构的描述,图 4 首先介绍了其中涉及的关键类。

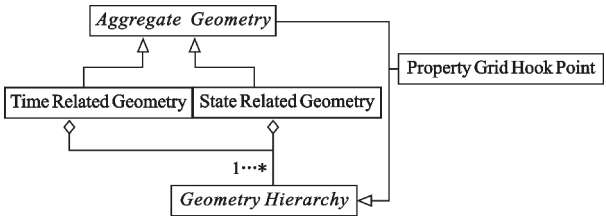


图 4 状态-时间结构的 DRM 类图
Fig. 4 DRM class figure related to the state-time structure

在图 4 中,父类 Aggregate Geometry 是 SEDRIS 提供环境数据描述结构的基类,斜段表示此类为抽象类。在当前 SEDRIS 版本中,它提供了大约 13 种不同类型的基本综合环境数据组织形式(仍在可扩充当中),例如四叉树组织、八叉树组织、类别组织以及多分辨率组织,同时这些基本组织方式又可以在交织中形成更为复杂的环境数据组织。

针对状态-时间结构,需要使用类 Time Related Geometry、类 State Related Geometry、类 Property Grid Hook Point 3 类组织形式,其中类 Property Grid Hook Point 代表了一个基本环境数据块。如图 4 所示,类 Time Related Geometry 与类 State Related Geometry 可以继续包含一到多个几何层次(图 4 中的 1... * 标示),由抽象父类 Geometry hierarchy 类表示。同时,Geometry hierarchy 又是抽象父类 Aggregate Geometry 与 Property Grid Hook Point 的抽象父类。因此,Time 与 State 两类组织形式便可以形成

循环嵌套式的环境数据格式。例如,首先,类 State Related Geometry 的实例可包含多个类 Time Related Geometry 的实例;其次,进一步讲,类 Time Related Geometry 的实例可包含多个类 Property Grid Hook Point 的实例代表的基本环境数据块,便实现了控制分系统对于气象预测数据的状态-时间结构。

图 5 展示了按照图 4 的结构具体组织的数据映射实例图,它是一个树形的层次结构。在一个具体的 SEDRIS 数据映射结构中,必须包含一个类 Transmittal Root 的实例作为根节点。类 Transmittal Summary 的实例可以提供关于当前环境数据映射结构中 Transmittal Root 信息(例如数据提供方信息等元数据)的具体描述。Transmittal Root 的下级类 Environment Root 的实例代表了关于环境内容,相似地,Primitive Summary Item 同样可以提供当前具体环境的元数据集。

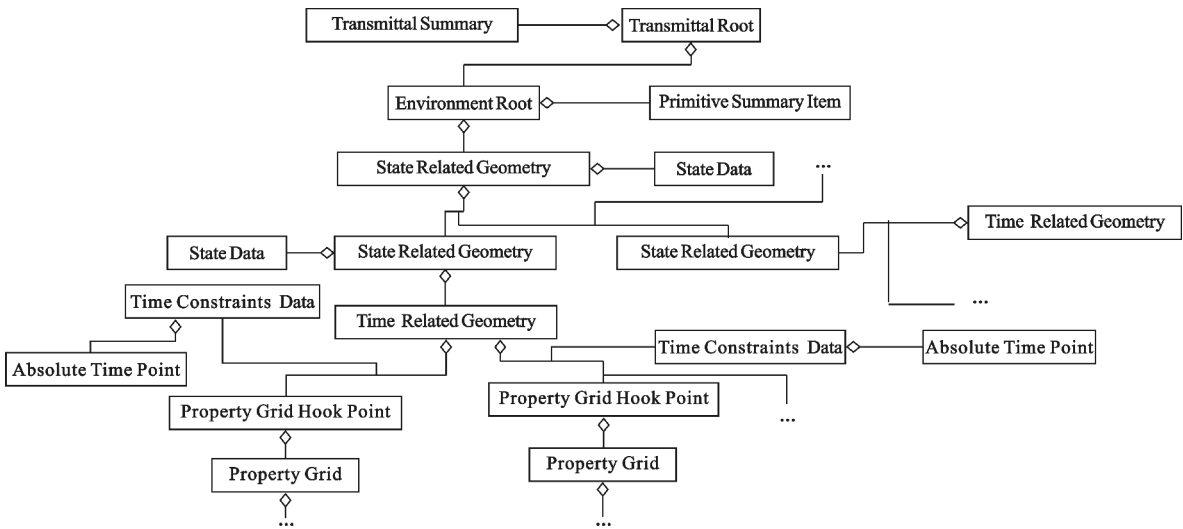


图 5 状态-时间结构的实例图
Fig. 5 Instance figure about the state-time structure

类 Environment Root 的实例下的子级结构即是控制分系统关于气温预测数据的状态-时间结构。首先引入一个类 State Related Geometry 的实例表示当前控制分系统的测试任务状态(其包含的类 State Data 的实例是对总状态信息的具体描述),在其之下引入多个类 State Related Geometry 的实例表示各个分状态结构(其包含的类 State Data 的实例是对各个分状态信息的具体描述)。进一步,每一个分状态都包含一个 Time Related Geometry 描述时间序

列预测数据,其中,类 Time Constraints Data 的子类 Absolute Time Point 的实例表示了初始时间集 $t_0 = \{t_0^1, t_0^2, t_0^3\}$ 的数值。而对于各个气温预测序列的格子形式的数据,使用多个类 Property Grid Hook Point 的实例所代表的基本环境数据块加以描述,而明确的气温数据则存储于其下级结构 Property Grid 中,相应地,Property Grid 包含了其描述表格数据所必需的 Axis、Location、Description、Classification 等信息。图 5 中的省略号标示则代表了此层次可容纳更

多的相似结构。

4.3 SEDRIS API 集成

在产生基于 DRM 的数据映射文档后,将 API 函数嵌入到本地的特定应用程序称为 API 集成过程,这一步是关于综合环境数据交换方法的具体计算机实现。在 API 的使用过程中,一般需要实现 3 个功能:属性填充、实例图生成和 STF 解析。

(1) 实例图中各个属性的填充

利用适合的 EDCS 编码填充 DRM 模型中每一个实例成员的字段值。类 Environment Summary 的实例中环境类型字段名 environment_domain = ECC_ATMOSPHERE。在 SEDRIS 标准中,强烈推荐使用 EDCS 来填充各个属性值,这样可以极大地增加 STF 在不同系统中的可读性。

(2) 实例图的 STF 生成

此功能的实现主要在环境数据的发送方(即数据生产方)。在属性填充完成后,为了生成最终的 STF 文件,关键点在于生成实例图中的各类面向对象式的建模关系。类 Transmittal Root 与类 Environment Root 的具体实例之间存在聚合关系,则可以使用 SE_AddComponentRelationship() 生成这种关系,并写入最后的 STF 文件。这一系列的函数集属于 SEDRIS API 的第二层次。

(3) STF 解析

此功能的实现主要在环境数据的接收方(即数据消费方),主要用于解析 STF 的具体内容。接收方需要读取类 Transmittal Summary 的实例内容,则可以使用 SE_GetComponent3() 来具体实现;或者希望读取处于同一层次的多个类 State_Related_Geometry 的实例,则可以利用迭代式的遍历函数族 SE_CreateSearchFilter()、SE_InitializeComponentIterator3()、SE_GetNextObject() 加以实现。这一系列函数属于 SEDRIS API 的第一层次。

以上三部分关于 API 调用的内容实现了一个完整的基于 SEDRIS 标准的环境数据产生与消费过程。在属性填充时,使用标准 SEDRIS 编码规范,同时类的实例之间的关系生成则完成了一份标准的 STF 文件,最终在环境数据接收方加以解析。可以看出,这一过程实现了在航天发射场异构系统间的环境数据共享与复用。

5 结 论

当前在科学的各领域,数据具备着珍贵的潜在

价值这一观点已得到研究者的普遍认同^[13]。相应地,数据密集型科学与工程也成为科学研究的主流手段,而数据全面、准确、有效率地得以表示和交互则是各类数据策略得以实现的基础。本文借助航天发射场综合环境数据这一应用背景,基于 SEDRIS 标准对环境数据的表示,以及在航天测试发控各异构系统间的交换机制进行了深入的分析,在系统地归纳了发射场环境数据的特征与要求后,设计了其表示与交换的方法。

在研究的过程中发现,数据表示与交换的标准化对其共享与复用有着极为重要的意义。在下阶段的工作中将尝试进一步将 SEDRIS 的基于交换的数据思想应用到航天发射通用数据利用中,相关的工作正在逐步深入展开。

参考文献:

- [1] 张晨光,杨华,杨军. 运载火箭新型地面测试发控系统构想[J]. 宇航学报, 2005, 26(3): 249-252.
ZHANG Chen-guang, YANG Hua, YANG Jun. Conception of a New Model of Launch Vehicle Ground Test Launch Control System [J]. Journal of Astronautics, 2005, 26(3): 249-252. (in Chinese)
- [2] 唐立文,岳铮,叶建设. 面向服务的航天发射场异构数据库集成研究[J]. 飞行器测控学报, 2011, 30(2): 42-45.
TANG Li-wen, YUE Zheng, YE Jian-she. Service-Oriented Integration of Heterogeneous DataBase of Space Launch Sites [J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2011, 30(2): 42-45. (in Chinese)
- [3] 穆山. 高温高湿高日照环境对发射场与测控设备影响分析[J]. 飞行器测控学报, 2009, 28(5): 24-28.
MU Shan. Analysis of the Influence of High Temperature High Humidity and Strong Solar Radiation on Launch Site Facilities and TT&C Systems [J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2009, 28(5): 24-28. (in Chinese)
- [4] 穆山. 海洋大气环境对航天发射场建设影响与对策研究[J]. 飞行器测控学报, 2009, 6(1): 62-65.
MU Shan. Research on Influence and Strategies of Sea-shore Atmosphere to Space Launch Site [J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(1): 62-65. (in Chinese)
- [5] 徐涛,王民钢,樊英平,等. 航天发射场激光气象观测系统建模与仿真[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(11): 2946-2948.
XU Tao, WANG Min-gang, FAN Ying-ping, et al. Modeling & Simulation for Laser Meteorology Observation System in Spaceflight Launch Pad [J]. Computer Measurement & Control, 2012, 20(11): 2946-2948. (in Chinese)

- [6] 杜诚谦, 潘洁伦. 新一代运载火箭地面测试发控系统一体化设计概述[J]. 航天控制, 2004, 22(2): 50-52.
DU Cheng-qian, PAN Jie-lun. Integrated Design of Ground Test Launch and Control System for New Generation Launch Vehicle[J]. Aerospace Control, 2004, 22(2): 50-52. (in Chinese)
- [7] 马千里, 陆筱霞, 徐华勋, 等. 虚拟作战空间环境及其数据描述与交换方法研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(s1): 141-146.
MA Qian-li, LU Xiao-xia, XU Hua-xun, et al. Research on The Virtual Battle Space Environment and Its Data Representation and Interchange Method[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(s1): 141-146. (in Chinese)
- [8] 刘卫华, 王行仁, 李宁. 综合自然环境(SNE)建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(12): 2631-2635.
LIU Wei-hua, WANG Xing-ren, LI Ning. Modeling and Simulation of Synthetic Natural Environment[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(12): 2631-2635. (in Chinese)
- [9] 孙丽卿, 王行仁. 综合自然环境数据库开发的研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(16): 2688-2692.
SUN Li-qing, WANG Xing-ren. Research on Modeling and Simulation Platform of Synthetic Natural Environment[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(16): 2688-2692. (in Chinese)
- [10] ISO/IEC 18023-1, Information technology-Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification (SEDRIS)[S].
- [11] ISO/IEC 18023-2, Information technology-Computer graphics and image processing-Part 2: Abstract transmittal format[S].
- [12] ISO/IEC 18023-3, Information technology-Computer graphics and image processing-Part 3: Transmittal format binary encoding[S].
- [13] 宫学庆, 金澈清, 王晓玲, 等. 数据密集型科学与工程: 需求与挑战[J]. 计算机学报, 2012, 35(8): 1563-1578.
GONG Xue-qing, JIN Che-qing, WANG Xiao-ling, et al. Data-Intensive Science and Engineering: Requirements and Challenges[J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(8): 1563-1578. (in Chinese)

作者简介:



陈思(1988—),女,安徽天长人,硕士研究生,主要研究方向为自动控制;

CHEN Si was born in Tianchang, Anhui Province, in 1988. She is now a graduate student. Her research concerns automatic control.

刘泽新(1982—),男,吉林省吉林市人,2008年于国防科技大学获工学硕士学位,现为工程师,主要研究方向为装备信息管理;

LIU Ze-xin was born in Jilin, Jilin Province, in 1982. He received the M. S. degree from National University of Defense Technology in 2008. He is now an engineer. His research concerns management of equipment information.

梁浩哲(1983—),男,山东淄博人,2008年获工学硕士学位,2012年获工学博士学位,现为工程师,主要研究方向为多媒体信息系统工程。

LIANG Hao-zhe was born in Zibo, Shandong Province, in 1983. He received the M. S. degree and the Ph. D. degree in 2008 and 2012, respectively. He is now an engineer. His research concerns multimedia information system engineering.

Email: lianghaozhe@hotmail.com