

基于集合化的装备 IETM 数据模块快速构建技术研究

余容, 陶以政, 李立清, 万正景

(中国工程物理研究院 计算机应用研究所, 四川 绵阳 621999)

摘要: 文章研究了基于集合化的数据模块快速生成技术, 根据笛卡儿积的运算特点采用集合化运算思想, 通过将信息集集合化、装备结构单元集合化, 提出了一种将信息集嵌入到装备结构单元的模型构建方式, 利用该模型进行信息集与装备结构单元的笛卡儿积集合化运算, 实现数据模块的快速有效构建; 这种构建技术突破了传统 IETM 手册顶层规划中数据模块生成方法的理念, 对数据模块的完备性、准确性给予极大地保障, 提高后期 IETM 手册研制的效率, 减小返工。

关键词: 集合化; 数据模块; 笛卡儿积; 信息集; 装备结构; IETM

Research on Rapid Construction of Equipment IETM Data Module based on Aggregation

Yu Rong, Tao Yizheng, Li Liqing, Wan Zhengjing

(Institute of Computer Application, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China)

Abstract: This paper studies the rapid generation of data module based on aggregation. Through putting Cartesian product operation to information set and equipment unit structure set based on aggregation, the author advance a new concept to construct equipment unit information with information set. It realizes construction of data module rapidly and effectively by using this model to do Cartesian product operation with information set and equipment unit structure set. Compared with traditional IETM manual making methods, this construction technology makes a breakthrough in data module generation, which takes a great improvement in efficiency and guarantees the completeness. At the same time, it also improves the efficiency in development of IETM manual.

Keywords: aggregation (ensemble); data module; cartesian product; information set; equipment structure; IETM

0 引言

S1000D^[1]标准的核心理念是数据模块化, 为了实现不同 IETM 项目之间出版物数据模块的任意复用, 在项目顶层规划时则需依据 S1000D 标准对技术资料进行模块化划分, 采用模块化的方法来组织 IETM 系统的技术信息, 这种数据共享方式可以大大降低技术资料之间数据共享的耦合度。数据模块由信息集和装备结构通过复杂的联接关系组装而成, 它的描述精细到了零件级别, 是 IETM 系统中最小信息单元^[2]。在 IETM 项目研制过程中, 所有的 IETM 手册都是由大规模、各种类型的数据模块组建而成的, 数据模块的生成则奠定了整个 IETM 研制的基础, 如何快速有效地建立数据模块是 IETM 的关键技术难题。

本人通过参与大量 IETM 项目实践, 提出将信息集嵌入装备系统结构单元技术路线, 利用集合化运算的新思路快速有效地构建数据模块, 突破了传统的 IETM 数据模块生成方法, 从创作者的角度探索更高效、合理的数据模块融合模式, 实现了基于笛卡尔积集合化运算特点的数据模块快速有效生成。

收稿日期: 2018-01-18; 修回日期: 2018-05-23。

作者简介: 余容(1969-), 女, 四川自贡人, 工程师, CCF 会员, 主要从事装备综合保障信息化、IETM 技术方向的研究。

1 信息集

1.1 信息集建立

信息集是对装备技术信息深度和范围的描述, 它是能完整地描述一个技术信息内容的所有数据模块的集合, 并对集合中所有数据模块进行组织的一种信息对象^[3]。信息集实际上是用户需求的直接反映, 信息集的生成是根据用户需要制作什么 IETM、IETM 的内容是什么、IETM 所具有的功能是啥等等需求, 以及用户提供的装备技术资料, 同时参考 S1000D 标准中给出的通用信息集和专用信息集, 对装备技术资料在合适的深度和粒度上进行拆分, 以标准规范的方式分解成基本的信息单元, 以一种逻辑化的形式描述技术信息的深度和广度, 并从编写者角度对技术资料进行规范化信息分类, 以建立符合标准的技术信息集。信息集的生成确定为确定数据模块类型、数据模块粒度划分等工作奠定了基础^[3]。

我们以某装备 IETM 技术手册为例, 分析装备技术资料, 采用标准分析方法从编写者角度对装备技术信息用途、深度和范围进行梳理, 首先需要明确用户的需求, 理解用户最终需要生成哪些分类的技术手册, 比如用户按操作使用、维修保养、设备工具、图解零部件、故障检测及电路图册等分类形成技术手册, 这些分类是保证装备操作使用、

维护保养、故障检修的重要技术依据^[4]; 其次需结合 S1000D 标准提供的通用信息集, 将提供的装备技术资料进行比对分析, 进一步规划生成装备 IETM 项目所需信息集, 如: 说明与操作信息、维修计划信息、修复信息、图解工具和保障设备信息、图解零部件信息、馈线数据信息; 最后整理分析每类技术手册所包含的信息集。下图是某装备技术手册类型及对应的信息集关系图。

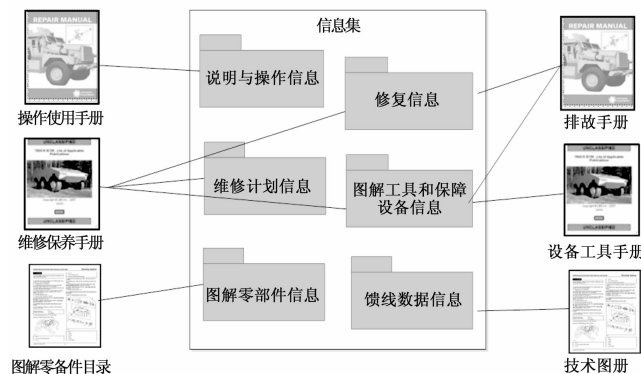


图 1 手册类型与信息集关系

1.2 信息集集合化

通过分析装备技术资料以及用户的需求, 形成相应技术手册及其信息集, 每本技术手册可以对应一个或多个信息集。由图 1 可知各类型技术手册与对应的信息集关系: 装备操作使用手册对应说明与操作信息集 (b_1), 维修保养手册对应 3 个信息集: 维修计划信息集 (b_2)、修复信息集 (b_3)、图解工具和保障设备信息集 (b_4), 图解零件目录对应: 图解零部件信息集 (b_5), 故障排除手册对应两个信息集: 修复信息集 (b_3)、图解工具和保障设备信息集 (b_4), 设备工具手册对应图解工具和保障设备信息集 (b_4), 技术图册对应馈线数据信息集 (b_6)。由于一本技术手册可包含一个或多个信息集为便于理解可以将信息集用集合化表描, 分析装备手册类型与信息集关系模型, 我们将确定的信息集用集合 B_k 来表示:

$$B_K = B(b_1, b_2, \dots, b_k)$$

K 为信息集数, b_i 为第 i 个信息集。

2 装备系统结构

2.1 系统结构拆分

在 IETM 中, 技术信息的最终展示与存储是以数据模块的形式进行的。在 S1000D 标准中对数据模块的定义是独立的、完整的最小数据单元, 它是一种技术信息, 是对装备结构、性能和操作步骤等进行描述的技术信息, 并且每一个数据模块都要清晰地明确其所要描述的是装备的哪一部分信息^[5]。因此, 在 IETM 手册研制“顶层规划”过程中需要对装备进行系统结构的拆分, 拆分的原则是以装备的物理结构或功能结构为基础^[6], 将其分解为若干独立的树形组织模式, 分解步骤按其结构自上而下进行, 以系统、子系统、部组件为分解单元, 部组件单元的分解原则

以能够进行故障定位为止, 形成装备树形层级分解结构。装备结构的拆分原则需综合考虑信息的重用和工作量大小, 因拆分粒度越细重用度越高但工作量越大, 而拆分粒度越粗重用度越低但工作量越小, 为技术信息与系统结构最终结合生成数据模块奠定基础。装备结构拆分模型如图 2 所示。

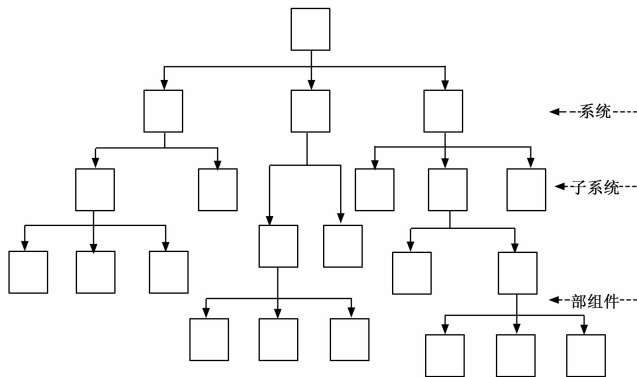


图 2 装备结构拆分模型

2.2 系统结构集合化

通过对装备结构拆分模型分析得知, 装备是按“系统/子系统/部组件”树型结构进行拆分的, 装备结构的不同层次结构中均包含多个子结构, 故每个层次结构的拆分单元可以用一个集合来表示, 那么不同层次结构则可以用 n 个集合来表示:

$A_n = A(a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nk_n})$; n 为层数; k_n 为第 n 层结构中包含的单元数。

每个层级由集合 a_n 表示, 由此我们可以利用求和公式计算出不同层次的结构单元数, 装备第 n 层结构中包含的结构单元数表示如下:

$$S = \sum_{j=1}^{k_n} a_{nj}, n \text{ 为层数}; k_n \text{ 为第 } n \text{ 层结构中包含的单元数。}$$

每个层级包含的结构单元数为 S , 那么整个装备结构拆分的单元数则可以通过二次求和计算出来, 装备结构共拆分为 T 个结构单元:

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} a_{ij}, n \text{ 为层数}; k_n \text{ 为第 } n \text{ 层结构中包含的单元数。}$$

3 传统数据模块生成方法

在 IETM 项目研制“顶层规划”过程中, 数据模块生成的传统方法, 通常是在装备系统结构进行拆分完成, 同时装备技术资料技术信息集规划形成的基础上, 顶层规划人员常常以分解的装备系统结构为主线, 结合规划的信息集进行逐级逐条梳理, 最终将结构与信息集融合生成满足 S1000D 标准要求的数据模块, 如图 3 所示。

这种传统的数据模块生成方式在一定程度上能够满足数据模块创建的需求, 但由于这种生成方式过于随意、缺乏统一规范、缺乏理论指导, 过度依赖顶层规划人员的个人经验, 对于经验不丰富或初次接触 IETM 的人员来说, 这种数据模块生成方式显得太过复杂, 不利于数据的组织及

表 1 某型装备信息集与系统结构单元的集合化运算表

IETM 手册分类	结构单元信息集	主机 (a11)	电器系统 (a21)	液压系统 (a22)	防护系统 (a23)	起升机构 (a31)	回转机构 (a32)	(ank)
操作使用手册	说明与操作信息集(b1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
维修计划手册	维修计划信息(b2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
维修保养手册	修复信息(b3)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
设备工具手册	保障设备信息(b5)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
图解零备件目录	图解零部件数据信息集(b6)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
技术图册	线路数据信息集(b7)	✓	✓	✓	✓			✓	✓

管理。而且这种方式也存在不少的问题，比如生成的数据模块容易重复，也容易遗漏部分数据模块，最终导致顶层规划数据模块建立工作反反复复，造成 IETM 手册研制工作繁琐、效率低下。

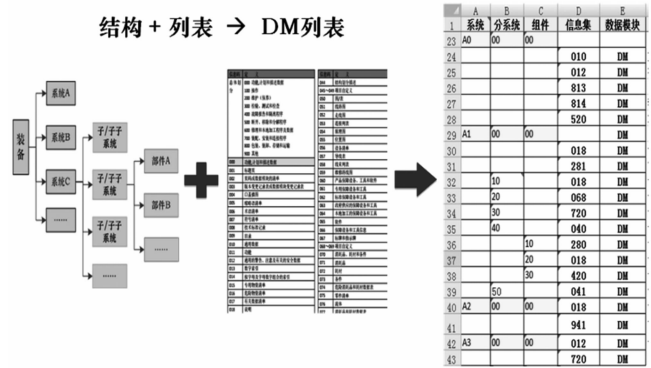


图 3 传统数据模块生成方法模型

4 集合化思路构建方法

4.1 信息集与系统结构融合

IETM 手册是由数据模块构成，为最终生成多种类型数据模块，必须理清装备结构与信息集之间的关系。在对装备产品结构树的层次化^[7]拆分，以及装备技术信息规范化分类形成信息集前提下，如何理清它们之间的关系是关键。由于装备结构拆分是按层次化结构分解，通过梳理各层次结构单元所隐含的技术信息集内容，梳理装备结构与信息集之间的层次关联关系，再利用整合原理进行装备系统结构和技术信息集的归类融合，建立信息集和产品结构间的关联映射关系，从而实现将信息集嵌入到系统结构单元技术，构建装备结构层次化与多类型信息集融合模型^[8]，为下一步数据模块的快速有效生成提供理论支撑。信息集嵌入装备结构单元模型如图 4 所示。

4.2 数据模块快速构建

笛卡尔积是集合理论中的一种常见的运算，参考文献资料见笛卡尔积的定义为：设 A, B 为两个集合，在集合 A 中取一个元素 x ，在集合 B 中取一个元素 y ，组成一个有序对 (x, y) ，所有有序对组成的集合称为集合 A 和集合 B 的笛卡尔积，记作 $A \times B$ ，即 $A \times B = \{ (x, y) \mid x \in A \text{ 且 } y \in B \}$ 。

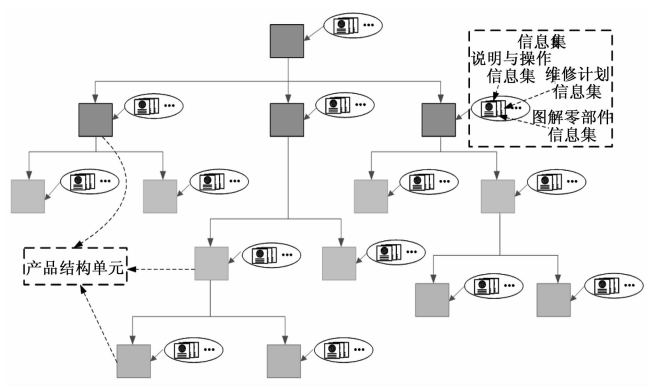


图 4 信息集嵌入装备结构单元模型

$y \in B \}$ 。

根据图 4 所示的信息集嵌入装备结构单元模型进行数据模块生成过程分析，利用集合化运算理论对该模型进行数学形式的统一描述^[10]，基于信息集集合 B_k 和装备结构单元集合 A_n ，构建信息集与装备结构单元关联映射关系，同时根据笛卡尔积集合化运算特点来验证信息集嵌入装备结构单元模型数据信息的完整性，解决如何快速有效生成数据模块及理清它们之间关系这一 IETM 关键技术问题。

我们把装备结构单元集合 A_n 与信息集 B_k 做笛卡尔积，记作 $A_n \times B_k$ ，乘积结果用 D_t 来表示：

$$D_t = A(a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nk}) \times B(b_1, b_2, \dots, b_k)$$

装备结构单元集合 A_n 与信息集 B_k 做笛卡尔积所有的乘积结果有序组构成的矩阵表示为：

$$D_t = \begin{bmatrix} (a_{11}, B_1)(a_{11}, B_2) & (a_{11}, B_3)(a_{11}, B_4) & \dots & (a_{11}, B_k) \\ (a_{21}, B_1)(a_{21}, B_2) & (a_{21}, B_3)(a_{21}, B_4) & \dots & (a_{21}, B_k) \\ (a_{22}, B_1)(a_{22}, B_2) & (a_{22}, B_3)(a_{22}, B_4) & \dots & (a_{22}, B_k) \\ (a_{23}, B_1)(a_{23}, B_2) & (a_{23}, B_3)(a_{23}, B_4) & \dots & (a_{23}, B_k) \\ (a_{31}, B_1)(a_{31}, B_2) & (a_{31}, B_3)(a_{31}, B_4) & \dots & (a_{31}, B_k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (a_{nk}, B_1)(a_{nk}, B_2) & (a_{nk}, B_3)(a_{nk}, B_4) & \dots & (a_{nk}, B_k) \end{bmatrix}$$

乘积结果 D_t 可以简化表示为：

$D_t = D (D_{11}, D_{22}, \dots, D_{kt})$ K 为信息集总数， t 为结构单元总数，乘积结果 D_{ij} ； $i \leq k, j \leq t$ 。

利用笛卡尔积对装备结构单元集合 A_i 与信息集 B_i 进行集合化所得运算结果 D_i 就是我们的数据模块。但是在这种集合化生成模式中也会出现极小量冗余, 需要我们对运算结果进行辨别清理, 比如, 某型吊车装备的起升机构它就没有线路数据信息集, 就需要我们将它们的乘积结果清理掉不生成正式的数据模块, 其余的运算结果 D_i 则形成装备的数据模块, 所有的 D_i 就一次性快速构成了装备 IETM 的全部数据模块。数据模块集合化的快速构建从理论上验证了数据模块生成的完整性、有效性、规范性, 对 IETM 顶层规划中数据模块生成方法具有一定的理论指导和操作。

5 集合化构建的应用

数据模块的集合化快速构建突破了传统的数据模块生成方法, 使数据模块的生成变得简单易行且更符合标准要求, 它提升 IETM 手册研制效率; 规范了数据模块的组织方式及相互关系, 保证了 IETM 研制的一致性; 本技术研究成果已成功应用于本单位多个 IETM 项目中, 通过实践证明实用性较强, 对 IETM 项目前期顶层规划工作具有一定的理论指导意义。下表为我单位某型装备 IETM 研制过程顶层规划时采用集合化理念规划的数据模块矩阵, 在这个项目中充分利用信息集集合化、装备结构单元集合化以及笛卡尔积运算特点快速有效生成数据模块列表, 对装备 IETM 编制规范化、数据模块生成的快速有效性、完整性及编制效率提升具有极大地促进作用。

6 结论

采用集合化运算思想来取代传统的数据模块生成方法, 提出将信息集嵌入到装备系统结构信息单元技术路线, 通过理论分析和实际应用验证了技术路线的正确性, 集合化数据模块生成技术使 IETM 顶层规划过程中数据模块的建立有据可依而且具有实际操作性, 生成数据模块更加规范, 加强了数据信息的组织及管理, 保证生成数据模块的完备、

准确及快速有效, 提升了 IETM 手册的研制效率, 为装备 IETM 手册研制提高数据模块的重用性、可维护性、共享性奠定基础。

参考文献:

- [1] Aerospace and Defence Industries Association of Europe; International specification for technical publications S1000D [S]. 2008.
- [2] 朱兴动, 等. 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.
- [3] 徐宗昌, 雷育生. 装备 IETM 研制工程总论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [4] 雷 震, 李庆全, 何嘉武. 基于 IETM 的武器装备虚拟维修训练系统设计 [J]. 现代电子技术, 2015, 38 (16): 138-140.
- [5] 徐宗昌, 曹冒君. 基于 S1000D 的装备技术信息拆分 [J]. 计算机应用, 2010, 30 (1): 63-65.
- [6] 余 容, 蒙立荣, 程 铮, 等. 基于装备的 IETM 技术资料拆分模型研究 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (9): 210-212.
- [7] 姜洪权, 王金宇, 高智勇, 等. 基于多色集合理论的大型装备数据模块创作技术 [J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21 (6): 1536-1545.
- [8] 乔福超. IETM 软件数据模型设计 [J]. 兵工自动化, 2015, 34 (1): 93-96.
- [9] 耿素云. 集合论与图论 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1998.
- [10] 刘金龙, 许宗泽. 笛卡尔积与认证码 [J]. 电子与信息学报, 2008, 30 (6): 1441-1444.
- [11] 徐宗昌. 装备 IETM 技术标准实施指南 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [12] GJB6600 装备交互式电子技术手册 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部出版, 2008.
- [13] 付崇国, WEB 框架下基于 S1000D 的 IETM 研究 [J]. 计算机应用与软件, 2010, 3 (27-3): 201-202.
- [1] 马 良, 王书齐. 中远程舰空导弹网络化协同反导作战效能分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.
- [2] 滕克难. “协同制导通道”基本概念及其应用分析 [J]. 现代防御技术, 2013, 4: 44-47.
- [3] 栗 飞, 姜青山, 姜文志. 舰空导弹武器系统协同制导作战分析 [J]. 飞航导弹, 2012 (11): 49-51.
- [4] 乔 良, 王航宇, 等. 舰空导弹协同制导流程研究 [J]. 舰船电子工程, 2008, 28 (4): 54-56.
- [5] 马 良, 秦作生. 舰艇编队综合协同防空多阶段策略优化建模 [J]. 战术导弹技术, 2013 (5): 25-30.
- [6] 曲宝忠, 孙晓峰, 等. 海军战术导弹试验与鉴定 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [7] 徐军权. 靶场实时任务中导弹管控方案的设计方法 [J]. 海上靶场学术, 2012 (11): 32-35.
- [8] 金振中, 李晓斌, 等. 战术导弹试验设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.

参考文献:

[1] 马 良, 王书齐. 中远程舰空导弹网络化协同反导作战效能分

(上接第 152 页)

4 结束语

本文针对中远程舰空导弹协同制导飞行试验的实施安全性问题, 综合考虑中远程舰空导弹制导控制特点、协同制导作战过程、导弹安全控制措施等, 对中远程舰空导弹协同制导飞行试验管控方案进行了初步设计。方案设计以单舰制导导弹飞行试验安全控制实践经验和中远程舰空导弹协同制导作战过程分析为基础, 贴近试验工程实际, 具有较好的实用价值。后续, 随着武器装备协同制导作战模式的逐渐成熟, 可根据具体的制导交接方案进一步细化完善本文提出的管控设计方案, 为后续中远程舰空导弹协同制导飞行试验的安全实施奠定基础。