

doi: 10.7690/bgzdh.2016.11.020

基于 GM-VV 的生命周期模型

唐雪峰, 王维锋, 张国辉

(装甲兵工程学院信息工程系, 北京 100072)

摘要: 为了更好地将通用校核验证方法 (generic methodology for vVerification and validation, GM-VV) 理论运用到建模和仿真的可信性研究中, 提出一种基于 GM-VV 的生命周期模型。介绍了 GM-VV 的理论体系, 对其概念框架、实现框架和剪裁框架进行了详细说明, 同时指出了 GM-VV 在应用中存在的问题。在对 GM-VV 应用研究的基础上, 构建了 GM-VV 生命周期模型, 对 V&V 工作各个阶段的具体任务进行分析。研究结果表明: 该模型可以更为简洁地将 GM-VV 理论应用到具体的 V&V 项目中, 减轻 V&V 工作人员的工作量, 提高 V&V 工作的效率, 对 GM-VV 方法的实际运用有一定的指导意义。

关键词: 建模与仿真; 校核; 验证; GM-VV

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Life Cycle Model Based on GM-VV

Tang Xuefeng, Wang Weifeng, Zhang Guohui

(Department of Information Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: In order to make a better use of the theory of generic methodology for verification and validation (GM-VV) to the research of credibility of modeling and simulation, a life-cycle model based on the GM-VV has been proposed. Introduces the theory system of the GM-VV, and illustrates the conceptual, implementation and tailoring frameworks in detail. Meanwhile, the problems existed in the application of the GM-VV have been pointed out. On the basis of the research in the GM-VV application, a life cycle model based on the GM-VV has been proposed, which analyzes the specific tasks in each stage of the V&V work. Research results show that the model can be more succinctly applied the GM-VV theory to a specific V&V project, which reduces the workload of the V&V staffs and improves the efficiency of V&V work. The proposed life-cycle model has certain guiding significances to the practical application of the GM-VV.

Keywords: modeling and simulation; verification; validation; GM-VV

0 引言

建模和仿真 (modeling and simulation, M&S) 被广泛地用于系统分析与设计、测试和评估、训练模拟等领域。当现实世界中的条件不能满足用户的需求, 或者采用仿真系统能比实际系统达到更高的效率和效益时, 通常会选择构建相应的仿真系统。由于仿真系统中存在的复杂性, 给仿真系统的评判带来了一定的难度, M&S 参与者 (用户、赞助方、开发者) 在面对一个仿真系统时, 需要判断开发的仿真系统针对某一特定使用目的时是否可接受。V&V 过程可用来帮助 M&S 参与者决定针对具体使用目的的仿真系统是否可接受^[1]。

通用校核验证方法 (generic methodology for verification and validation, GM-VV) 起源于 2009 年的一项由法国、荷兰、瑞典、加拿大、丹麦政府以及英国的工业合作伙伴共同参与的国际项目。项目的目的是开发一个统一并且通用的模型、仿真和数

据的 VV&A 框架 (Common verification, validation and accreditation framework for simulation)^[2]。2013 年, GM-VV 被国际仿真互操作标准组织 (simulation interoperability standards organization, SISO) 批准为 V&V 的标准指导文件。

GM-VV 理论的目的不是取代现有的 V&V 方法、标准、或者相关政策, 也不是一成不变的, 它对于不同的 V&V 应用都有独立的或唯一的解决方案。在运用 GM-VV 理论时, 需要根据具体的 M&S 项目对其剪裁, 以满足其特定的 V&V 需求。

文献[2]详细讲述了 GM-VV 的技术实质, 并说明如何将 GM-VV 方法应用于训练仿真系统; 文献[3]阐述了联邦开发与执行过程 (federation development and execution process, FEDEP) 的 VV&A 方法与 GM-VV 之间存在的映射关系, 以及 GM-VV 与其他 VV&A 标准之间的关系; 文献[4]讲述了如何将 GM-VV 方法定制到军舰操纵训练仿

收稿日期: 2016-07-18; 修回日期: 2016-09-06

基金项目: 国家自然科学基金 (61302110)

作者简介: 唐雪峰 (1991—), 男, 四川人, 在读硕士, 从事通信装备仿真模型可信性研究。

真中；文献[5]论述了采用 GM-VV 方法，对导弹仿真模型进行校核验证的方法、步骤等；文献[6]论述了如何将 GM-VV 应用于大型的仿真系统——中距离反坦克仿真训练系统，从仿真系统的分析到 V&V 的执行步骤及过程都做了详尽的分析和说明；文献[7]对 GM-VV 做了全面而详尽的描述，包括 GM-VV 的技术框架，V&V 项目的组织管理，项目执行，项目关闭和整合，相关结论和未来的研究方向，并结合具体的实例对 GM-VV 应用做了分析。在这些工作的基础上，笔者提出一种基于 GM-VV 的生命周期模型，明确 GM-VV 方法的各个工作阶段和内容，为 VV&A 参与者提供参考和借鉴。

1 GM-VV 理论

GM-VV 作为一种通用的技术框架，由 3 个子部分构成：概念框架、实现框架和剪裁框架，如图 1 所示。概念框架提供统一的概念来促进 VV&A 工作参与者的相互交流、理解和 VV&A 的执行。实现框架则将这些概念转化为一系列的模块，形成连续的 VV&A 实现方法，以应用于具体的 M&S 项目。剪裁框架为运用 GM-VV 方法提供剪裁原则和指导，用于高效地开发和应用具体的 V&V 方法实例。

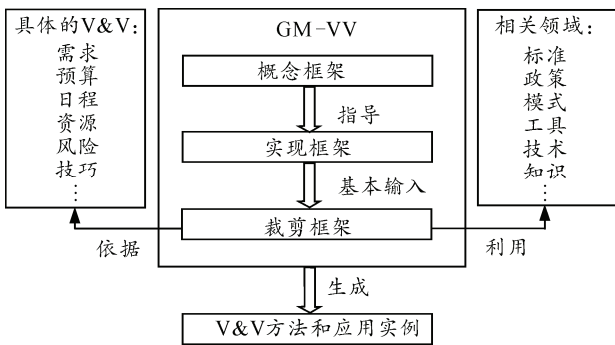


图 1 GM-VV 技术框架

1.1 GM-VV 概念框架

GM-VV 在 M&S 项目工作的开始阶段，从解决 M&S 问题的角度将 VV&A 工作划分为“4 个域”，即现实域、问题域、M&S 域和产品域，如图 2 所示。这“4 个域”覆盖了从现实域需求到操作使用等整个过程。该系统的每一个元素都对应了相应需求。

在 VV&A 域中包含了 VV&A 要求、校核验证与可接受决定、可接受建议书。在对“4 个域”分析的过程中，提出具体的 VV&A 要求，然后进行 VV&A 过程，作出 VV&A 决定，最后撰写关于该 VV&A 项目的可接受建议书。

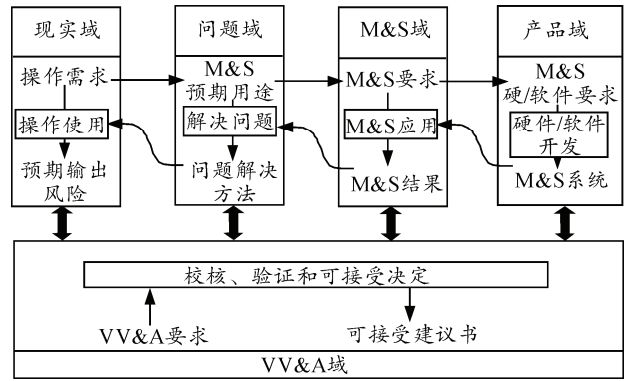


图 2 基于问题解决的 M&S 4 个域

VV&A 的目标是说明 M&S 资产能够满足其在“4 个域”中预期的使用目的。该目标由一系列可接受标准较接而成，需要收集标准的证据来说明其满足 M&S 资产的程度。GM-VV 确定了 3 类 M&S 可接受标准的属性：M&S 资产的有用性、仿真真实世界的有效性、M&S 资产实现的正确性。

目标网络是一种基于全面面向目标要求工程原则的论证网络，该网络是包含目标、策略和支撑环境信息的有向图，如图 3 所示。伴随着证据解决方法 (evidence solutions, ES)，将可接受目标转化成一系列合理的、可追溯以及可审查的可接受标准。ES 明确了需要哪种证据以及如何得出该证据，来证明可接受标准中的每一项具体的标准。ES 中包含了 M&S 系统测试方法说明、指示物或预期的结果产生器、结果比较器和评估器。当其实现时就形成了 VV&A 实验框架。

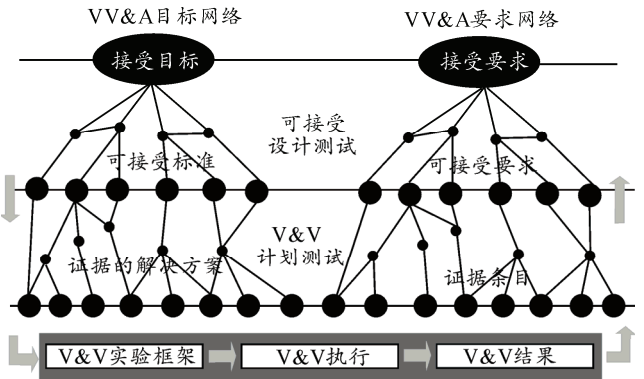


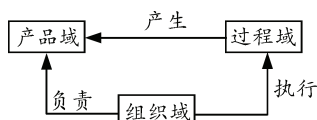
图 3 VV&A 目标-要求网络结构

要求网络是基于证据的论证网络，它将收集到的任何证据条目都转化成一系列合理的、可追溯以及可审查的可接受要求，这些要求都是基于具体的可接受标准的。这些可接受要求通过论证更深入地聚合成一个要求，接受要求，即总体上看 M&S 系统是否可接受。VV&A 要求网络同样是一个有向图，但是包含的是证据条目 (evidence items, EI)，要求

和论证。VV&A 目标网络是建立 VV&A 要求网络的基础。

1.2 GM-VV 实现框架

GM-VV 实现框架将 GM-VV 的基本概念转化为一组通用的 VV&A 组件。这些组件被分类和设计为产品域、过程域和组织域 3 个相关的域，如图 4 所示。



产品域中定义了所有在 VV&A 项目中开发的所有必要的 VV&A 产品，并且要一直更新来保持一个可行的 VV&A 环境。GM-VV 产品包括：

- 1) 协议产品：
 - VV&A 合同。
- 2) 企业产品。
 - ① VV&A 花费模型；
 - ② VV&A 完备模型。
- 3) 项目产品：
 - ① VV&A 项目计划；
 - ② VV&A 项目报告。
- 4) 技术产品：
 - ① VV&A 要求说明；
 - ② VV&A 前置条件说明；
 - ③ VV&A 系统利益；
 - ④ VV&A 实验框架；
 - ⑤ VV&A 结果；
 - ⑥ VV&A 目标网络；
 - ⑦ VV&A 要求网络；
 - ⑧ 可接受建议书。

过程域定义了所有 VV&A 生命周期过程，这些过程共同地产生和修改产品域中的 VV&A 产品。过程域包括了产品域中对应的 4 个过程：协议过程、企业过程、项目过程和技术过程。

组织域定义了所有必要的组织构件来启动企业级和项目级的组织。组织域中主要分为 2 类：VV&A 机构和 VV&A 角色。VV&A 机构中包括需求机构和供应机构；VV&A 角色中包括提问者、赞助商、企业经理、项目经理、可接受组长、VV&A 组长、VV&A 实现组长。这些角色中都有具体的名字、责任和义务。个人可以担任多个角色，多个相同角色和机构也可能同时存在。

所有组件的目的都是通过使用和结合，实现剪裁后的 VV&A 解决方法。这些解决方法满足任何特定的 M&S 组织、应用、技术或问题领域中的需要。

产品域包含基于信息的 VV&A 产品，可以有多个实例、表现形式和文档格式。这些 VV&A 产品都来源于过程域中定义的过程、活动和任务。它们可以被递归地、并发地和迭代地执行。定义在组织域中的角色涉及到执行一个或多个 VV&A 过程、活动和任务。在 VV&A 中指定的角色无论是人还是组织都担负着一定的责任，个别组织、组织中的团队人员或个人都可以扮演这些角色。

1.3 GM-VV 剪裁框架

VV&A 方法虽然存在许多相似之处，但是每个 VV&A 项目都是独一无二的。要将 GM-VV 应用于特定的 VV&A 项目，必须要对其优化和调整。GM-VV 提供了一个综合、系统的调整方法，叫做剪裁 (Tailoring)，是将 GM-VV 方法通过扩展 (Expansion)、定制 (Specialization) 和优化 (Optimization) 的方法进行实例化。

GM-VV 的目的是作为 VV&A 的通用、高层实现框架，需要被每个单独的 M&S 组织、项目或应用领域剪裁或定制化。剪裁概念的基本前提是 GM-VV 要被投入某个实际的适用于组织或应用领域 VV&A 方法，并且应当为 VV&A 项目优化该实例。剪裁的目标是适应 GM-VV 产品、过程和组织，满足 GM-VV 应用环境特定的要求和限制。GM-VV 剪裁过程应用了以下 3 种基本的剪裁方法：

扩展：增加 GM-VV 以外的元素 (比如额外的产品)。通常扩展需要与当前的企业标准、规定和政策相一致。

定制：调整 GM-VV 元素 (比如采用领域内特定的 V&V 方法)。定制意味着通用 GM-VV 组件的扩展，通过领域内具体的实现方法或细节，比如方法、工具和技术等。

优化：调整去找到最适宜的成本收益率 (比如 M&S 使用风险和项目资源)。

扩展和定制都必须遵从 GM-VV 的一致性原则，才能保证应用方法的连续性、一致性。为了优化 VV&A 问题，必须要解决 3 个临界问题^[8]：

- 1) 必须满足 VV&A 预期使用目的。
- 2) 真实世界风险，必须建立足够的可信度，保证在使用 M&S 方案时，不会出现不可接受的真实世界中的风险。实际上这意味着避免出现 VV&A 类

型 1 错误(接受本应该拒绝的 M&S 方案)和 VV&A 类型 2 错误(拒绝本应该接受的 M&S 方案)。

3) VV&A 方案必须遵守该项目上的标准、政策和规定。

VV&A 优化时可考虑以下变量: 预算、日程、技术资源(基础设施、方法、工具和技术等)、VV&A 操作者技巧和相关的领域知识。

2 GM-VV 方法在应用中存在的问题

1) V&V 项目应用层次判断不准确。V&V 项目的应用层次包括项目级、技术级和企业级, 不同应用层次 V&V 项目的实现框架在内容、工作阶段和任务量上都存在较大的区别。在 V&V 项目开始之前, 准确判断该项目应用 GM-VV 的层次, 恰当估计 V&V 项目的工作量, 确定 V&V 实现框架中应该具备的元素。

2) V&V 工作人员与需求方沟通不够充分。在 V&V 工作开始之前, 工作人员需要与需求方详细沟通 V&V 项目的层次、内容、目标、要求等内容。因为当 V&V 项目执行到一定阶段时, 再对其进行修改将会耗费大量的时间和资源。

3) 将 V&V 目标网络分解得太过零散。V&V 工作中的一项重要内容是构建 V&V 目标网络, 之后需要将各个目标根据相关的证据项分解为多个子目标。不恰当的分解目标将会导致子目标过多, 并增加理解目标网络的难度和 V&V 工作人员的负担。

4) V&V 过程产生的信息和内容管理不恰当。

V&V 工作包含了多个阶段, 各个阶段会生成相应的信息和文档, 对这些信息的管理不恰当会导致 V&V 工作失去条理性, 文件管理混乱, 最终影响到 V&V 工作的质量; 因此, 有必要选择恰当的工具管理这些信息, 检验它们的完整性、连续性和正确性。

5) 期望的可信度与花费预算(时间, 金钱和专家)不匹配。不同可信度的 V&V 工作在资源消耗上对时间、金钱、专家的专业程度都有着不同的需求, 期望可信度与预算之间的不平衡都会影响到 V&V 项目的最终质量。

3 GM-VV 生命周期模型

GM-VV 理论作为一个抽象的框架, 将其运用到具体的 M&S 项目中会存在以上提到的各种问题。为了更好地将 GM-VV 理论运用到 M&S 的可信性研究中, 提出一种 GM-VV 生命周期模型, 对 V&V 工作的各个阶段及具体内容进行分析和说明。

3.1 V&V 项目初始化

GM-VV 生命周期模型主要分为 3 个阶段: V&V 项目初始化、V&V 项目执行、V&V 项目结束。GM-VV 生命周期模型如图 5 所示, 其中 V&V 项目组织、V&V 项目整合和计划、监管和控制构成项目级过程组件; V&V 背景分析、可接受标准说明、V&V 实验框架说明、V&V 实验框架实现与执行、V&V 实验框架案例开发、可接受案例开发、质量-风险分析、企业存储区和项目存储区构成技术级过程组件。

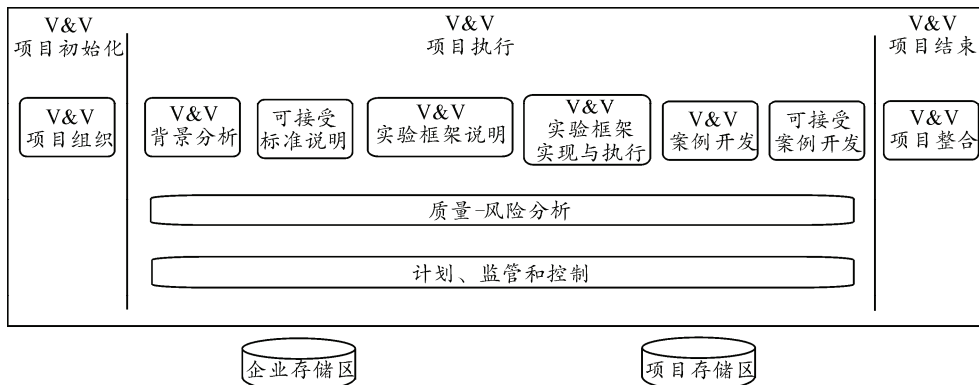


图 5 GM-VV 生命周期模型

1) V&V 协议。

在 V&V 项目初始化过程中, 首先要与仿真系统的开发商、用户达成 V&V 协议。这个过程需要开发商和用户经过多次的沟通, 对仿真系统进行勘察, 以便于充分了解该仿真系统的使用环境、操作过程、使用目的等内容, 并最终达成共同的 V&V

协议。通过协议中的信息, 可以确定 V&V 项目的需求、目标和限制等内容。

V&V 协议的达成通常由 2 名专家完成, 在这个过程中要完成以下目标:

- ① 了解该仿真系统到底能满足预期目标的何种程度;

② 在项目的程序中预防存在风险的情况；

③ 建立与仿真系统操作人员之间信任和可接受性；

④ 充分了解仿真系统的内容。

进行任何 V&V 项目都要进行流程化的步骤，以充分认识仿真系统的预期目标和预期使用方法。

2) V&V 项目组织。

V&V 项目执行的各个阶段都会生成相应的文档信息，必须对这些信息进行有组织、有类别的管理，以便于 V&V 项目的组织和实施；因此，建立一个项目存储区和企业存储区，对 V&V 信息和文档进行集中统一的管理。

V&V 项目是一个系统而完整的过程，需要对各个阶段进行详细的计划、监督和控制，并将项目实施过程中存在的问题及时反馈给 V&V 工作人员，及时做出相应的调整，保证 V&V 项目顺利地执行。V&V 计划中包含了明确的目标、任务和截止日期，并且会将任务分配给一个或多个具体的 V&V 小组成员。此外，还要定期的举行会议与仿真系统的用户汇报 V&V 项目的状态和进程。

3.2 V&V 项目执行

V&V 项目执行是完成 V&V 项目的关键环节，该阶段完成质量的好坏直接关系到最终可接受报告的撰写。V&V 项目的执行内容如图 5 所示，即 V&V 背景分析、可接受标准说明、V&V 实验框架说明、V&V 实验框架实现和执行、V&V 案例开发、可接受案例开发和质量风险分析 7 个内容。

1) V&V 背景分析。

背景分析的目的是获取和分析关于仿真系统模拟真实系统和应用环境的相关信息。该过程首先要对基于 GM-VV 理论中的 4 个域进行分析，结合具体的 M&S 项目获取项目的操作需求、预期用途、M&S 要求和软/硬件需求等信息。背景分析阶段中获取的信息将是下一阶段可接受标准说明的基础。

2) 可接受标准说明。

可接受标准的质量直接关系到 V&V 项目的可信度水平和 M&S 项目的使用风险。制定合适的可接受标准，必须要求该仿真系统能够满足预期目的和使用要求。GM-VV 定义了 3 类可接受标准^[9]：

① 有用性：用户使用功能和运行达到的层次；

② 逼真度：仿真对现实世界模拟的程度；

③ 正确性：描述 M&S 开发质量。

可接受标准的质量直接关系到整个 M&S 的可信度，同时也关系到 M&S 的使用风险。可接受标准和 V&V 质量标准的定义由领域专家和用户一起制定，并且制定的过程是一个反复迭代的过程，需要经过多次讨论和修改。

3) V&V 实验框架说明定制和实现实验框架可以产生适当的证据，以说明仿真系统的可信度层次。

实验框架中包含了一系列证据解决方法，具体说明了如何获得满足可接受性标准的证据。定制证据解决方法涉及到实验的设计，并且对于每一个证据解决方法都必须明确以下信息：基于预期结果的参照、测试说明或真实系统的实验、要求的设备和分析技术、初始或边界条件、说服力。证据解决方法的定义同样是一种迭代的 V&V 团队工作，它的输入信息来源于环境分析和应用需求分析。

4) V&V 实验框架实现与执行。

根据 V&V 实验框架说明形成具体的框架文档说明，随后根据 V&V 实验框架的各个阶段和步骤将测试划分为不同的类别，然后分别执行。

5) V&V 案例开发。

根据目标-要求网络中的具体 V&V 目标，开发相应的 V&V 案例，以便于说明可接受标准在 M&S 项目中的满足程度。

6) 可接受案例开发。

在 V&V 执行完成后，根据 M&S 的要求、目的和用途的满足程度开发可接受案例，用于说明 M&S 要求的满足程度。可接受案例将会作为 V&V 报告的基础，V&V 报告将会用于可接受建议书的撰写。

7) 质量-风险分析。

完成 V&V 工作之后，对 M&S 项目进行一个整体的质量-风险分析，对 M&S 项目在完成预期用途、系统稳定性和存在的风险做出说明。

3.3 V&V 项目整合

1) 递交 V&V 报告。

在完成所有的技术工作之后，将 V&V 报告递交给 V&V 客户，即 M&S 项目的需求方。在 V&V 报告中：一方面总结 V&V 技术工作本身的合理性和可信度；另一方面在 V&V 研究结束之后，依据可接受案例和使用风险对 V&V 结果、可接受要求和可接受建议书进行总结。