白皮书

衡量基于模型的设计的投资回报

随着信息物理系统日益复杂，使用传统的系统开发方法来维持质量和控制成本也变得更加困难。为了应对这一挑战并提升竞争力，公司纷纷采用基于模型的设计来进行系统和软件开发。但在投资之前，有必要对基于模型的设计所带来的效用以及有助于其效用最大化的支持流程进行合理性论证。本文所述的基于模型的设计投资回报 (ROI) 框架是一种分析工具，它量化了基于模型的设计相比传统开发方法预期可以节约的成本，从而对基于模型的设计进行投资合理性论证。

MathWorks®

简介

随着客户需求范围扩大且日趋复杂，系统的逻辑与控制软件也呈现出同样的趋势。公司需要在日益紧迫的时限内开发飞机和汽车所需的数百万行代码，此时他们发现，传统开发流程已无法满足现在的质量与速度目标。将基于模型的设计用于系统开发，能够在开发过程早期发现缺陷并减少潜在缺陷的总数，从而可以降低成本。借助基于模型的设计，公司能够以更低的成本、更短的时间交付更高质量的工业机械、机器人、无线系统和其他复杂系统，从而获得了竞争优势。

传统开发过程与基于模型的设计

在传统开发过程中，每个阶段的任务在不同工具环境中依次执行，其中许多手动步骤会带来棘手的问题（图 1）。从系统需求定义到系统运营，无论在开发的哪个阶段，如果不采用基于模型的设计方法，都会导致效率低下。

在传统开发过程中，人们使用 Microsoft® Word® 或 IBM® Engineering Requirements Management Doors® 等工具以文本方式捕获系统需求，却又在绘图工具中指定系统架构，因此，如果发生更改，分析、解释和管理就变得很困难。子系统设计是使用领域特定的工具创建的，因此，要执行系统级测试，就不得不等到软件或硬件实现之后。从设计到代码的转换是一个手动过程，不仅耗时，也容易引入缺陷。每个阶段都会引入一些缺陷，最终全都累积到测试阶段。由于缺少通用工具环境，又需要多次手动操作，加上缺陷累积到后期才被发现，开发时间与成本都增加了。此外，由于未能有效利用运营数据和基于数据的深度洞察，在系统运营时改进系统效率、提升正常运行时间的宝贵机会被白白浪费了。

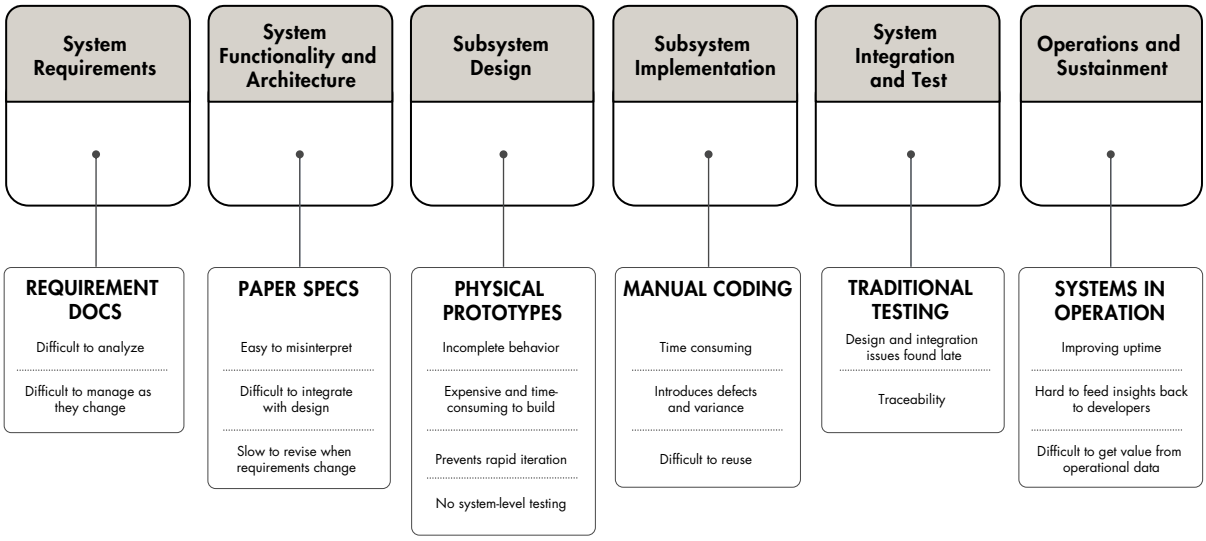

图 1.传统软件开发过程。这种方法包含很多不必要的手动步骤，有可能引入缺陷。

基于模型的设计（图 2）在整个开发过程中系统地使用模型。这种方法也是始于一组系统需求，但和传统流程的区别在于，它并不是基于需求开发文本规范，而是基于需求开发系统架构，即行为和架构模型形式的可执行规范。工程师使用这些架构模型来阐明需求和规范，随后基于这些模型开发详细的子系统设计。

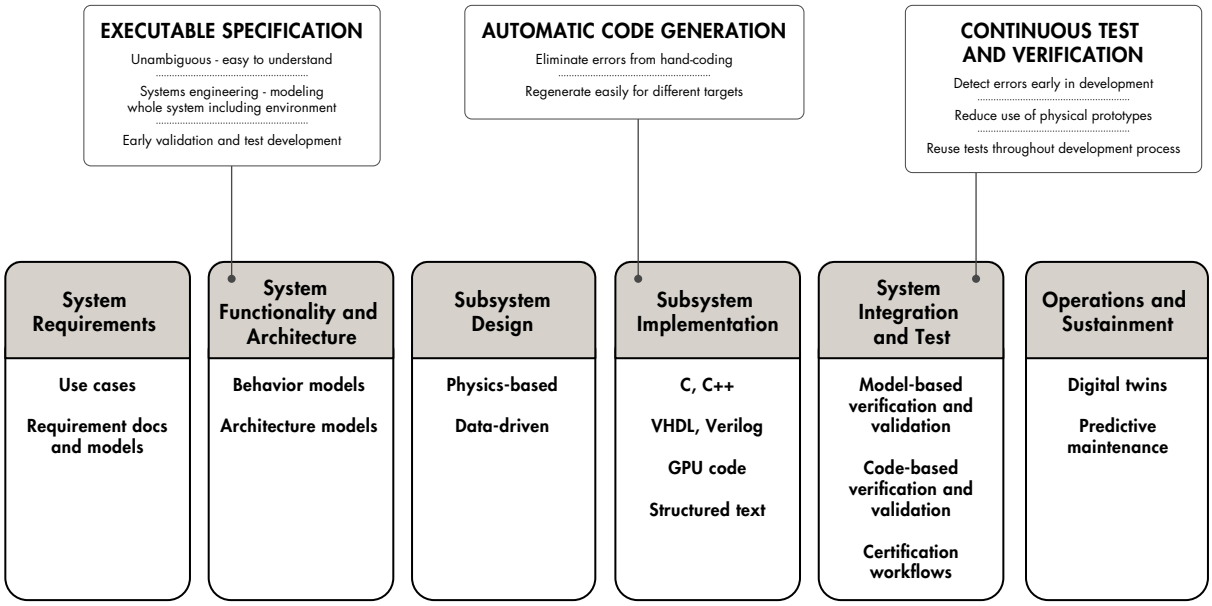

图2.使用基于模型的设计开发软件的过程。这种方法在整个开发过程中使用系统级模型作为可执行规范，并支持系统级和组件级设计和仿真、自动代码生成以及持续测试和验证。

工程师可以使用 MATLAB® 和 Simulink® 进行基于模型的设计，从而在系统级别对设计进行仿真，在实现之前发现接口缺陷。完成设计之后，工程师可以从模型中自动生成产品级代码和测试用例，从而避免手写代码造成的错误。在此工作流中，从系统需求定义到系统测试，工程师全程处在同一环境中，从而最大限度地减少了手动工作量。此外，工程师可以使用模型仿真可执行规范来验证是否满足需求，从而早在需求阶段就开始测试。这样就可以及早发现和消除缺陷，降低总开发成本。

系统工程角度的成本节约

Jerry Krasner 为 Embedded Market Forecasters 所做的一项研究显示，在基于模型的系统工程中系统地使用模型可在两年内总计节约高达 55% 的成本 [1]。模型的使用减少了对文本需求的依赖，在过去，由于沟通不畅，文本需求时常过度设定。在基于模型的设计中，模型是整个开发过程中的通用语言。这种方法可以减少产品设定中的多义性，并支持使用仿真来确认需求。在构建产品之前使用模型仿真和完善产品设定是节省成本的一大原因。

基于模型的设计还支持在开发系统需求和架构时探索多种解决方案，从而在设计过程早期实现更快地迭代设计和达成共识。通过基于模型的方法，从系统工程到项目开发和运营，各个阶段都能一以贯之地使用同一工具链，使系统架构能够无缝、高效地连接到系统设计。

开发角度的成本节约

与采用传统方法相比，采用基于模型的设计的组织可节约 20-60% 的成本 [2, 3]。这种成本节约主要得益于更准确的需求分析以及早期和持续的测试与验证。由于使用模型来仿真需求和设计，因此可在开发过程中更早地发现缺陷；此时，修复缺陷所需的成本远远低于后期修复（图 3）。

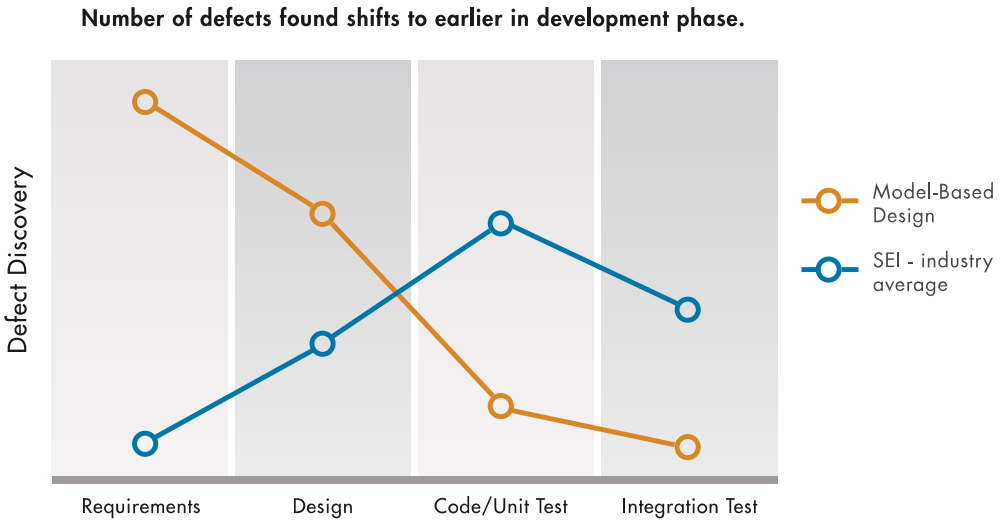

图 3.开发阶段发现的缺陷。基于模型的设计将缺陷的发现提前到开发过程的早期。

使用基于模型的设计 ROI 框架量化成本节约

基于模型的设计 ROI 框架用于估计特定项目采用基于模型的设计的 ROI。根据项目大小、团队规模和其他因素，该框架可使用基本构造性成本模型 (COCOMO) 计算出传统开发的成本，然后减去基于模型的设计的成本节约量，即可得到基于模型的设计的开发成本。（该框架选择使用基本 COCOMO 模型是因为它是一种广泛用于航空航天和国防工业的通用参数化成本估算工具，它采用严密的模型进行软件成本估算，从而有理有据地计算采购成本。）

然后，将使用基于模型的设计进行开发可以节约的成本考虑在内，计算 ROI。计算使用的指标来自软件工程协会 (SEI)、电气和电子工程师协会 (IEEE) 和产业研究 [1, 4, 5, 6]。由于项目范围、现有流程和团队在基于模型的设计方面的知识技能因行业和公司而异，使用者可针对特定的项目和团队自定义基于模型的设计 ROI 框架。

让我们来看一个基线案例，它是一个具有 50,000 行代码的软件项目。使用基本 COCOMO 模型可以算出，使用传统方法的开发成本大约为 600 万美元。为了计算基于模型的设计相比传统方法的成本节约量，需要根据行业指标对每个开发阶段（需求、设计、实现和测试）进行分析。然后便可汇总出成本节约量，并从传统开发成本中减去该节约量。在本例中，基于模型的设计的成本为 300 万美元，相比传统方法节约了 50%。

为了达到 50% 的成本节约量，该框架会检查基于模型的设计所消除的传统开发流程中的低效情况，并根据来自客户的经验数据、客户访谈、行业指标和平均值计算成本节约量。每个开发阶段的成本节约量是分别计算的，因此，如果分步采用基于模型的设计，该框架也可以适用。

需求开发期间的成本节约

为了说明框架的工作原理，我们看看需求阶段的低效情况。使用模型来发现不明确、不一致或不可测试的需求，使得工程师能够发现更大比例的缺陷。基线案例假设 15% 的需求包含缺陷或需要返工，这是从行业访谈中获得的估计值。在需求阶段发现这些缺陷，意味着可以避免开发阶段后期成本高昂的返工。有了缺陷需求的数量，再乘以需求阶段过后解决检测到的缺陷需求平均所需的时长，即可求得一部分需求成本节约量。在基线案例中，每个需求缺陷平均需要 4.5 小时解决 [6]。根据这个计算，基于模型的设计可节约 3,375 小时的工程时间。表 1 展示了框架中处理需求分析痛点的部分。

需求开发和可追溯性	
需要返工的需求占比	15%
不正确需求的数量	750
每个需求返工所需的时间（小时）	4.5
提前修复不正确需求所节省的时间（小时）	**3,375**

表 1.使用 ROI 框架计算在早期修正不正确需求可节约的工程时间。

测试期间的成本节约

此框架也可发现测试阶段的低效情况，从而节约大量成本。基于模型的设计支持自动生成测试来验证和确认模型，从而实现完整的测试覆盖率。这种方法可以避免将宝贵的时间耗费在开发后期应对测试覆盖率缺失问题上。这些测试用例可用于从桌面仿真到硬件在环测试的多个测试阶段。此外，还可以自动生成汇总测试结果且符合行业标准的报告。假设一个项目有 5,000 个需求，使用基于模型的设计可以节约多达 12,000 个小时，因为在建模阶段生成了全面的测试用例，并且能够在多个测试环境中重用测试用例。图 5 展示了框架中处理测试痛点的部分。

测试和报告	
处理每个需求的测试覆盖率缺失问题所花费的时间（小时）	2
自动测试生成节约系数	70%
在处理覆盖率缺失问题方面节省的时间（小时）	**7,000**
在实验室为每个需求确认/调试测试所花费时间（小时）	2
测试重用系数（从桌面测试到实验室）	50%
在实验室测试方面节省的时间（测试重用）（小时）	**5,000**

表 2.使用 ROI 框架计算使用基于模型的设计在测试和报告工作流可节约的工程时间。

总体开发成本节约

该框架还包含其他几个部分，用于处理开发过程每个阶段的不同低效情况。汇总整个开发过程的成本节约量后，我们可以发现，本示例中的成本节约量几乎有一半来自测试阶段（图 4）。这得益于在开发过程的早期进行更为全面的需求分析，使得遗留到测试阶段的缺陷更少，在测试阶段，需求和测试的修正和改进成本更高。简而言之，更准确的需求促成了更好的设计。提早并持续进行测试使得更多缺陷在产生后不久即被发现和处理，从而不会在软件中遗留潜在缺陷，降低了整体开发成本。

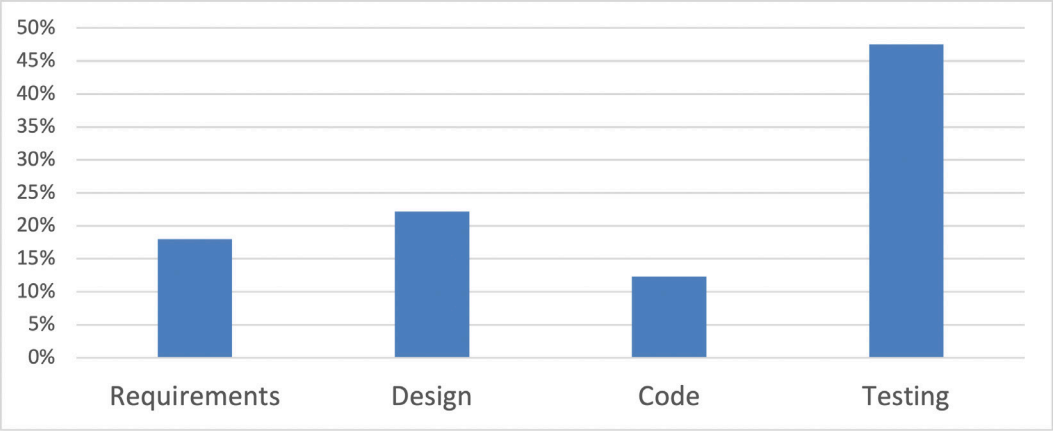

图 4.不同开发阶段的成本节约量占比 (%)。
测试阶段的成本节约量在总成本节约量中占比最大。

当公司与 MathWorks 合作、着手采用基于模型的设计时，他们可以从 ROI 框架获得指引，了解基于模型的设计转型可在哪些领域快速、显著地彰显成效。

开发生命周期之外的成本节约

ROI 框架量化了整个开发生命周期的成本节约，不过，基于模型的设计能带来的经济效益不止于此。更快的开发速度加快了产品上市，为采用基于模型的设计的客户赢得竞争优势。此外，基于模型的设计能够减少管理开销和沟通不畅，释放资源以用于核心业务活动和创新。

小结

对于大多数企业而言，投资新技术和新流程是一种有风险的尝试。本文介绍的投资回报计算旨在为支持基于模型的设计投资提供分析证据。ROI 框架不仅能论证这一投资的合理性，还有助于团队发现基于模型的设计可以在哪些领域节约最多的成本，以及通过进一步研究可以在哪些领域进一步削减成本。

要为您的团队或公司定制化计算 ROI，请*联系销售部门*。

了解更多

- *为什么采用基于模型的设计?*
- *工程团队如何应用基于模型的设计*
- *Simulink 仿真和基于模型的设计*
- *基于模型的设计过程评估和成熟度框架*

参考文献

1. Krasner, Jerry.How Product Development Organizations Can Achieve Long-Term Cost Savings Using Model-Based Systems Engineering (MBSE).October 2015. ***https://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:how_product_development_organizations_can_achieve_long-term_savings_1_.pdf***
2. MathWorks, OHB Develops Satellite Guidance, Navigation, and Control Software for Autonomous Formation Flying. ***https://www.mathworks.com/company/user_stories/ohb-develops-satellite-guidance-navigation-and-control-software-for-autonomous-formation-flying.html***
3. MathWorks, BAE Systems Achieves 80% Reduction in Software-Defined Radio Development Time. ***https://www.mathworks.com/company/user_stories/bae-systems-achieves-80-reduction-in-software-defined-radio-development-time.html***
4. Over, James W., *Managing Software Quality with the Team Software Process*, Software Engineering Institute. ***http://c-spin.net/2010/c-spin201004Managing%20Software%20Quality%20with%20the%20Team%20Software%20Process.pdf***
5. Vallespir, Diego, and William Nichols.*Analysis of Code (and Design) Defect Injection and Removal in PSP*.CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA, 2012. ***https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/Presentation/2012_017_001_298088.pdf***
6. Tom King, Joe Marasco, *What Is the Cost of a Requirement Error?*StickyMinds. ***http://www.stickyminds.com/sitewide.asp?ObjectId=12529&Function=edetail&ObjectType=ARTCOL***

© 2021 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks.
Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.