维普资讯 http://www.cqvip.com

计算机科学 1999Vol. 26№. 5

产品生产线方法导扬

An Introduction to Product Line Approach

郭立峰 马 黎 邹 炜
(北京大学计算机科学技术系 北京 100871)

Abstract Currently, the process of software engineers to develop systems is still independent, "one system at a time" while the development of a large system cost surprisingly enormous investment and time with unpredictable quality. As a result, the Software Engineering Institute (SEI) of the University of Carnegie Mellon proposed the concept of Product Line. A product line for software is a collection of software system that addresses a common set of system requirements, which are all developed through customization from base requirement and standard product line architecture, and integration of components and system-unique software, thus improving software productivity and quality greatly. This article introduces its organizational structure and development process through two examples of software organization adopting Product Line approach successfully, which hopes to make contribution to domestic software reuse research and technical promotion of software enterprise.

Keywords Software reuse, Product Line approach, SEI, ESC, SS2000

一、前言

目前，软件工程师开发系统仍然是比较独立的"一次开发一个"的过程。一个大型系统从最初的概念化，经过需求分析、设计、集成和测试到最终的配置，经常需要7到10年的时间，对大型软件的开发和再工程都需要大量的投资、很长的产品周期，并缺乏对质量的可预测性。为此，卡内基—梅隆大学(CMU)的软件工程研究所(SEI)提出了产品生产线这种开发方法。

一个软件产品生产线是一组具有公共的系统需求集的软件系统，这些需求是针对一类特定的商业行为或任务的，或者可以说是一组共享公共的设计和标准(或构件)的产品族。产品生产线软件开发的特点是在开发过程中使用公共的软件资产，包括构架、构件和过程模型。产品生产线的产品是根据基本的用户需求对标准的产品生产线构架进行定制，将可复用构件与系统独有的部分集成而得到的。产品生产线方法集中体现了一种大规模、大粒度的软件复用实践。

CMU的SEI正在通过一系列的实例来研究产品生产线方法对复杂的大型软件项目产生的收益和影响。目前已经在美国空军电子系统中心(ESC)和Celsius Tech系统公司(一个瑞典防务软件合同商)这两个军方的软件组织中成功地采用了产品生产线方法。本文就以这两个软件组织为例，简要介绍了它们的组织结构和开发过程，希望能对国内软件复用研究以及软件企业技术提升有所帮助。

二、ESC的产品生产线方法

2.1 ESC产品生产线的组织结构

在ESC采用的产品生产线方法中，主要有五个关键性的组织，即外围的用户、SPO(系统规划处)、和产品生产线内部的系统构架组、产品生产线工程中心和软件资产支持组，它们之间的关系由图1所示。

SPO是直接和用户打交道的组织，由它来决定是开发一个新系统还是从已有的系统升级。SPO和

维普资讯 http://www.cqvip.com

用户都是产品的客户，它们介入了整个开发阶段，在系统从原型演化到最终部署的过程中进行监控和认证。

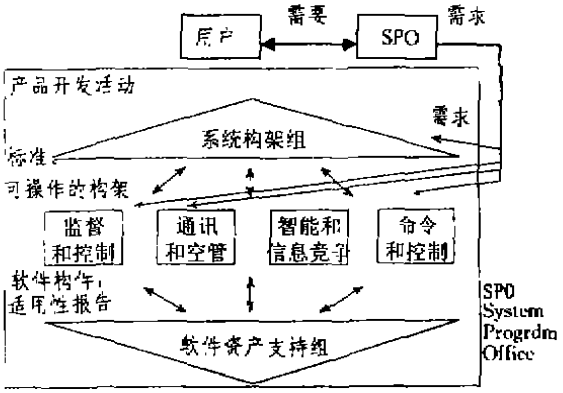

图 1　ESC 产品生产线组织结构

产品生产线内部的三个关键性组织分别是：

· 系统构架组(SAG)。它的主要职责是：①与产品生产线工程中心一起负责产品生产线构架的定义。②协助软件资产支持组建立评价标准，用于对商用和政府提供的软件构件(COTS 与 GOTS)进行适用性测试。③在开发具体的应用系统时，要协助分析用户的需要，并适当裁剪产品生产线构架。

· 产品生产线工程中心(PLEC)。它的主要职责是：①与 SAG 一起定义和演化产品生产线构架。②受 SPO 委托开发出适当的系统原型，并制定系统的开发计划(程序执行计划)。③开发产品生产线构件，并在产品生产线内进行配置管理。

· 软件资产支持组(PLAS)。它的主要职责是：①通过对软件资产进行标识、包装和认证以支持对软件资产的复用，它是产品生产线开发和维持的基础。②与构架组和工程中心一起，确保对产品生产线内部软件资产库和跨软件资产库的成功使用，这些软件资产库用于支持工程中心内的软件资产开发、直接的软件资产开发和跨软件资产的配置管理。

2.2　构架在产品生产线中的角色

产品生产线构架提供了产品生产线中系统的结构，它是产品生产线方法成功的关键。重要的产品生产线决策都是在开发或选择产品生产线构架的过程中作出的。产品生产线的决策包括以下三个阶段：

· 产品生产线的规约。对产品生产线进行规约需要理解产品生产线中目前和未来系统潜在的共性和不同系统间的差异。这一关键步骤需要对产品生产线的能力进行分析，包括产品生产线中所有系统都必须具备的能力、可选择的能力和可替换的能力(即有不同的能力可供选择)。

· 产品生产线构架的开发。产品生产线构架定义了产品生产线中的软件资产(必需的、可选的和可替换的)、软件资产间关系、约束及对系统使用和演化的指导，产品生产线构架必须支持产品生产线规约中标识的共有能力和产品生产线内部潜在的变化性，它还提供了产品生产线的各种视图，包括数据、安全性、性能和通讯等方面。在这个阶段，将标识出可以在新的或更新后的产品生产线构架中复用的已有构架和构架片段(设计级的软件资产)。

· 系统构架的设计。SPO 将从各个产品生产线组织中选取代表组成产品生产线构架选择小组，这个小组负责判定产品生产线构架是否适用于新系统，即由它来评价产品生产线构架满足特定系统需求(由用户和 SPO 所定义)的能力。这个评价过程不仅要考虑构架的约束，还要考虑产品生产线中已有的产品。已有的产品可以作为新系统的模型，或者可以利用软件资产构造出系统原型。构架选择小组要判定目前的产品生产线构架是否能完全满足新系统的需求。如果不能，他们必须决定：①该系统的需求是否可以适当放宽，使目前的产品生产线构架能够直接使用。②是否可以只使用这个产品生产线构架的一部分，或者是否能对它进行扩展，使它能满足新系统和该产品生产线中未来系统的需求。他们还可以决定这个系统的开发不能使用产品生产线方法，需要改用其它的开发方法。

系统构架组与 SPO 和工程中心合作，根据用户需求开发出适用的产品生产线构架。它的职责如图 2 所示。

2.3　软件资产

软件资产是用于支持产品生产线中产品开发的可复用资源的统称。软件资产远不只是一般意义下的软件构件，它们包括：

领域模型，领域知识，产品生产线构架，测试计划及过程，通讯协议描述，需求描述，用户界面描述，配置管理计划及工具，代码构件，性能模型，度量，工作流结构，预算和调度，应用程序生成器，原型系统，过程构件(方法、工具)，COTS 产品说明，设计、设计标准、设计决策，测试脚本。

在产品生产线系统的每个开发周期都可以对这

维普资讯 http://www.cqvip.com

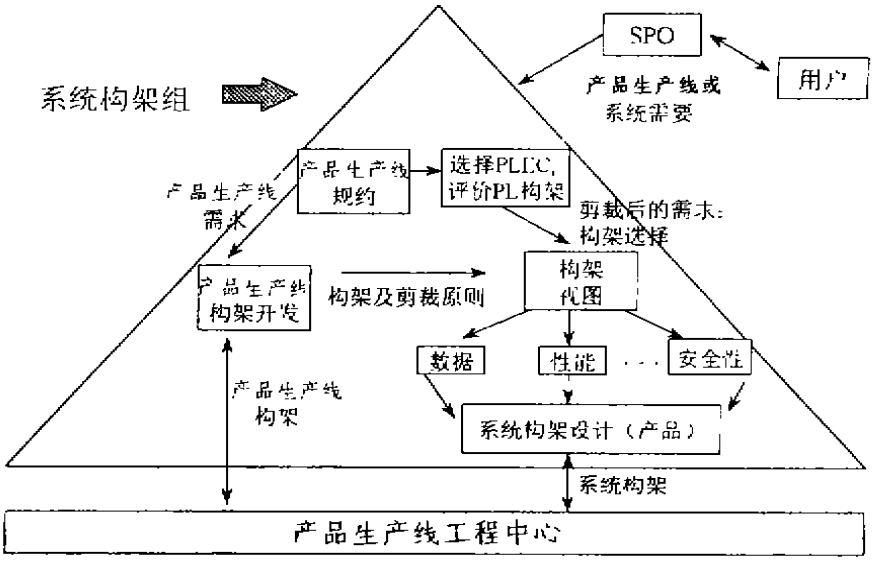

图 2　系统构架组的职责

些软件资产进行精化，标识和维护软件资产所需的行为包括：

· 对可复用资源(企业级软件资产)进行标识、限制和包装，以便用于将来的开发。

· 使它们能被用于一个或多个产品生产线。(通过一个软件资产库或其它通讯渠道)

· 对软件资产的版本进行控制。

· 利用一个中心维护的设施来对 COTS 产品进行适应性测试。

以上也是软件资产支持组的主要职责，但它必须得到其它产品生产线组织的支持。图 3 说明了这些行为与其它产品生产线组织的关系。

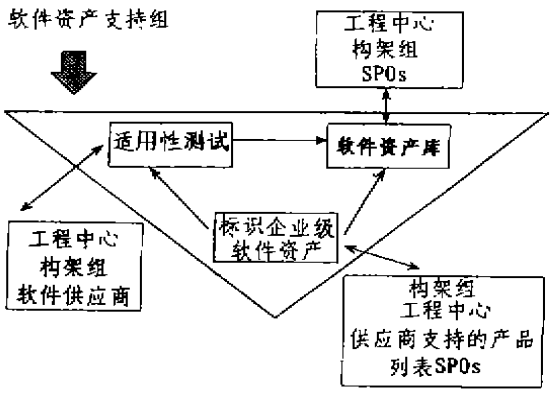

图 3　软件资产支持组的职责

1. 标识企业级软件资产　产品生产线的一个重要的核心工作就是标识出能被本产品生产线和其它产品生产线所复用的软件资产，并开发出一个可复用的软件资产库。因此必须对旧有系统进行分析，以标识出其中可复用的信息和资产，并进行再包装，送入一个软件资产库中进行维护，以便将来作为可复用的信息和资产来使用。为了支持企业级软件资产的标识和复用，还需要进行跨产品生产线分析，以标识出其它产品生产线中产品和知识的复用机会。

2. 适用性测试　适用性测试用于决定一个 COTS 或 GOTS 软件产品是否满足产品生产线构架中构件域的构架性和功能性需求。测试的标准派生于产品生产线构架中构件域的需求和接口。测试的结果将放到"供应商支持的产品列表"中。

3. 软件资产库　软件资产库负责维护通过上述两种行为而得到的信息，这些信息包括前面提到的所有类型的软件资产，它们在库中按照产品生产线来组织。通过软件资产库有助于快速获得那些经过验证的、可靠的、标准化的软件资产，从而将它们集成到新的产品生产线系统中。随着库中软件资产的增多和各组织间协作关系的成熟，复用的机会将会随之增大，产品生产线方法的好处也会逐步被认识到。

2.4　产品生产线中的系统开发过程

在产品生产线方法下开发系统的过程与目前开

维普资讯 http://www.cqvip.com

发过程的区别体现在以下两个方面：

根据标准构架来开发：一个产品生产线构架定义为一组相关系统所共享的公共的抽象设计结构。除了结构特性外，产品生产线构架还定义了系统中的软件资产（必需的、可选的、可替换的三类）、软件资产间关系、约束以及产品生产线系统使用和演化的原则。构架必须支持与产品生产线之外开发的系统之间的互操作性和软件资产的共享性，一个新系统的构架是根据用户需求对产品生产线构架进行剪裁后得到的。

利用软件资产来开发：开发新系统时，要在系统构架基础上最大限度地组装已有的软件资产，这种开发方法一方面要复用本产品生产线的软件资产，同时要标识出对其它产品生产线的软件资产的复用机会。

新的系统构架和任何被开发或被修改的软件资产都将成为产品生产线的核心软件资产，并将在未来的开发中被使用到。

2.4.1 **与用户的协作** 系统规划处（SPO）在产品生产线方法下有了一个新的角色。SPO 是用户与产品生产线组织的中介，它一方面要与用户一起定义新系统的操作性需求，并负责系统最后的发布，另外它还要依赖于产品生产线工程中心在关键技术上提供领域的专业知识，例如雷达、通讯和网络控制等。SPO 既可以指定工程中心通过应用工程开发出满足用户需求的产品，也可以让工程中心提供软件资产给某个合同商或直接给用户组织进行开发。图 4 说明了 SPO 与产品生产线工程中心之间的关系。

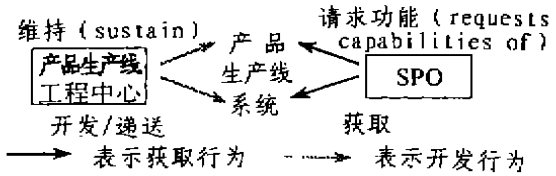

图 4 SPO 与工程中心的关系

2.4.2 **产品生产线工程中心的任务** 在开发系统时，产品生产线工程中心需要和系统构架组和软件资产支持组进行交互。图 5 显示了产品生产线工程中心与产品生产线中其它组织间的关系。

· SPO 向工程中心提供系统需求，并在系统开发过程中负责和用户打交道。

· 系统构架组在产品生产线构架定义和产品开发期间都需要和工程中心协作。

· 在工程中心进行产品开发期间，软件资产支持组需要对新的软件资产进行标识和评审。

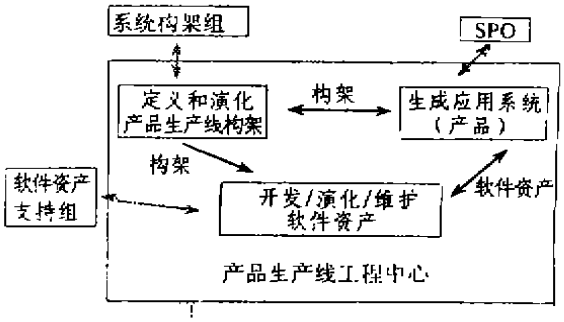

图 5 产品生产线工程中心的任务

产品生产线工程中心在其它产品生产线组织的协助下，主要有以下三个关键任务：

1. 与系统构架组一起支持产品生产线构架的定义和维护。

2. 与软件资产支持组一起开发、演化和维护软件资产。

3. 在 SPO 的帮助下生成应用系统（包括跨产品生产线集成的系统）。

产品生产线构架是由系统需求所驱动的，它建立起了产品生产线系统的设计结构。双箭头的"构架"表明，产品生产线系统的特定需求会影响到产品生产线构架的演化。软件资产实现了产品生产线系统共有的特定功能，或者在产品开发过程中有所帮助（如测试用例、文档等）。双箭头的"软件资产"表明软件资产的演化也会受到系统需求的影响。

三、SS2000 产品生产线应用实例

CelsiusTech 系统公司是瑞典主要的指挥与控制系统供应商。1985 年 12 月，该公司同时接到了两份合同一瑞典海军和丹麦海军的舰船系统，两个系统都需要很强的容错性和分散性、比以往开发的系统要复杂得多。在面临两个结构类似的大型系统的并行开发情况下，以前开发单个系统的方法需要大量的投资和人力，因此公司的管理者和高级技术人员决定采用一种新的产品族系列的开发方法，这就是 SS2000 产品生产线。

采用 SS2000 产品生产线方法后，CelsiusTech 公司获得了巨大的成功，将硬件与软件的费用比例从过去的 35：65 变成了 80：20。由于软件的费用

维普资讯 http://www.cqvip.com

得到了良好的控制，该公司现已把精力投入到了降低硬件费用上。

图 6 说明了 SS2000 产品生产线的组织结构。

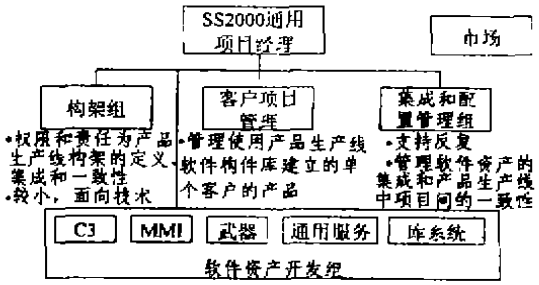

图 6　SS2000 产品生产线的组织结构

图中的构架组负责定义和演化产品生产线构架，并要保证构架的一致性，它通常由几名(10 名以下)具备丰富的软件和系统经验的高级技术工程师组成。客户项目管理组的职责与 ESC 产品生产线中的 SPO 类似，主要作为产品生产线组织与用户之间的中介。软件资产开发组主要负责开发、标识和维护软件资产，在它内部有一个软件资产库系统。集成和配置管理组负责将产品生产线构架和软件资产集成为产品生产线系统，保证各个系统之间的一致性。

小结　使用产品生产线方法的好处是显而易见的，它将以更小的代价和资源，更快地开发出系统。由于使用的是高度可靠、性能经过验证的可复用软件资产，产品生产线系统的质量将大大提高，而且产品生产线方法还开拓了一个广阔的软件资产市场，这将极大地促进软件资产业的发展。

但是，产品生产线方法仍然面临着很大的挑战和障碍，这主要体现在：

• 文化上：产品生产线策略意味着软件组织和管理者对他们产品开发的直接控制减少了，对其它组织的依赖增加了，需要一种思想观念上的转变。

• 战略计划上：产品生产线的规划不仅是对一组相关系统的管理过程，还需要考虑用户的长期需要和现有产品生产线的能力，对未来的发展作出长远规划。

• 需要折衷：产品生产线方法需要用户作出折衷，是"独自开发一个恰好是我所需要的系统"，还是"利用产品生产线开发一个与我的需要非常接近的系统，但可以节省开发的代价和时间"。

• 资源的所有权：软件资产归谁"所有"？在目前的体制下，这的确是一个容易引起纠纷的问题。这就需要整个软件开发和管理组织的重心从当前的程序获取转移到商业化的软件资产开发上来。

• 提拔和奖励：当前的开发方法主要是提拔和奖励那些提交了最终系统的开发人员，采用产品生产线方法后还应该提拔和奖励那些开发软件资产和促进了产品生产线开发中软件资产复用的人员。

参 考 文 献

1　Concept of Operations for the ESC Product Line Approach：[Technical Report，CMU/SEI-96-TR-018，ESC-TR-96-018]

2　Brownsword Lisa.et al. Successful Product Line Engineering：A Case Study. Software Technology Conference，April 1996

3　Brownsword Lisa，Clements Paul. A Case Study in Successful Product Line Development：[Technical Report，CMU/SEI-96-TR-016，ESC-TR-96-016]

(上接第 60 页)

9　Sorumgard Lars Sivert，et al. Experiences from Application of a Faceted Classification Scheme. in Advances in Software Reuse. In：R. Prieto-Diaz，et al. eds. the Second International Workshop on Software Reusability. Lucca，Italy，1993. 116～124

10　Widom J. Research Issues in Data Warehousing. Prepared talk on DB/Expro 95(with slides)

11　杨冬青，唐世渭. 应用的深化推动数据库技术发展. 计算机科学，1997，24(2)

12　Li Keqin，et al. An Overview of JB(JadeBird) Component Library System JBCL. In：Jian Chen，et al. eds. Proceedings of the twenty-fourth International Conference TOOLS. ASIA，Beijing，1997. 261～267

13　青鸟Ⅱ型项目组. 青鸟构件模型：[内部技术报告]. 北京大学：计算机科学与技术系，1997

14　Inmon W H. Building the Data Warehouse. John Wiley & Sons Inc. 1993

15　Codd F E，et al. Providing OLAP(On-Line Analytical Processing) to User-Analysts，PC WORLD，1993 9

16　Kimball Ralph. A Dimensional Modeling Manifesto，DBMS Online，July 1997

17　杨燕燕，等. 数据仓库星形模式及其建模工具研究. 软件学报，1998-6

18　Gill Harjinder S，Rao Prakash C. The Official Guide to Data Warehousing. Que Corporation，1996

19　Kathy Bohn Converting Data for Warehouses DBMS Magazine，1997(6)