

蒋耀东, 张今, 顾复, 等. 支持多价值链协同产品开发的业务流程集成服务系统研发与应用[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(5): 1-9. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.240501

# 支持多价值链协同产品开发的业务流程集成服务系统研发与应用

蒋耀东<sup>1</sup>, 张今<sup>1</sup>, 顾复<sup>1,2</sup>, 顾巧祥<sup>3</sup>

(1 浙江大学 机械工程学院, 杭州 310027; 2 浙江大学 工程师学院工程管理中心, 杭州 310015;

3 中国计量大学 质量与安全工程学院, 杭州 310018)

**摘要:** 针对当前多价值链协同产品开发面临的协同业务流程复杂多变、协同过程管控困难、协同资源分散等挑战, 提出了支持多价值链协同产品开发的业务流程集成服务解决方案, 构建了业务流程集成服务系统, 并在家电企业间开展了应用验证。实践证明, 该方案能有效支持多价值链协同开发业务, 促进了协同企业间资源的共享与有效利用, 提升了企业产品开发能力与协同创新能力。

**关键词:** 多价值链协同开发; 业务流程集成服务; 协同创新; 资源共享; 家电行业

中图分类号: TP311.13

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)05-0001-09

## Development and implementation of a business process integration service system to support multi-value chain collaborative product development

JIANG Yaodong<sup>1</sup>, ZHANG Jin<sup>1</sup>, GU Fu<sup>1,2</sup>, GU Qiaoxiang<sup>3</sup>

(1 School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2 Engineering Management Center, Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310015, China; 3 College of Quality and Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Multi-value chain collaborative product development is an important mode to promote product innovation for manufacturing enterprises and collaborative development for supply chain. In view of the challenges faced by multi-value chain collaborative product development, such as the complexity and variability of collaborative business processes, the difficulty of collaborative process control, and the dispersion of collaborative resources, the business process integration service solution to support multi-value chain collaborative product development is proposed and the business process integration service platform is built, and application validation among home appliances enterprises is carried out. It is proved that the proposed solution can effectively support multi-value chain collaborative development, promote the sharing and effective utilization of resources among collaborative enterprises, and enhance the ability of product development and collaborative innovation of enterprises.

**Key words:** multi-value chain collaborative product development; business process integration service; collaborative innovation; resource sharing; household appliances industry

## 0 引言

当前越来越多的中国企业从制造环节向产品研发设计和产品销售服务两端高附加值环节拓展。产品创新能力成为了企业竞争优势的主要来源, 产品开发成为许多制造企业业务活动的核心<sup>[1]</sup>。

专业化分工是提高企业开发效率的有效手段。企业产品开发从价值链协同的产品开发到多价值链协同

产品开发, 进一步提高了专业化分工的深度和广度, 使得产品开发时间更短、成本更低、盈利机会更大。

然而, 制造企业在享受多价值链协同所提供的这些好处时, 也面临着如下一些问题与挑战<sup>[2]</sup>:

(1) 由于客户需求不断变化, 产品生命周期缩短, 产品大批量个性化需求增强, 从而导致产品设计业务流程复杂多变, 传统单一且固定的设计过程已难以满足个性化时代快速响应的需求。

**基金项目:** 国家重点研发计划课题(2018YFB1701501); 宁波市科技创新 2025 重大专项(2019B10030)。

**作者简介:** 蒋耀东(1999-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 多价值链协同, 知识管理, 大数据分析等; 张今(1995-), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 多价值链协同, 资源共享, 流程挖掘, 知识管理等; 顾巧祥(1973-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 大批量定制, 模块化设计, 产品数据管理等。

**通讯作者:** 顾复(1986-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 功能设计, 数字孪生, 智能产品, 创新设计等。Email: gufu@zju.edu.cn

收稿日期: 2023-04-11

(2) 由于产品具有整体性,协同产品开发过程中也存在“短板效应”,即一个模块的设计质量问题会导致整个产品开发项目的失败。多价值链协同产品开发项目中,制造企业需要对各方协作供应商进行资源协同、设计过程协同、设计任务协同。但一项产品对应的零部件及其供应商数量可能很多,且各个供应商内部的业务流程运行和管理的模式及形式很难保证一致,要对项目中的所有协作供应商的产品开发过程进行管控的难度很大。

(3) 许多制造企业与供应商进行协同产品开发时,由于双方的设计团队隶属不同的企业,往往依靠端对端的邮件和即时通讯工具开展沟通,容易产生设计资源分散、双方信息不一致等现象,进而出现设计漏洞、进度瓶颈等问题,对双方均造成巨大损失<sup>[3]</sup>。

针对上述多价值链协同产品开发过程中面临的挑战,为了满足企业间业务流程协同优化与资源集成共享的需求,本文提出了支持多价值链协同产品开发的业务流程集成服务方法,并且研发了业务流程集成服务系统,最后在家电行业制造企业及其协作供应商间进行了应用验证。

### 1 系统需求分析

#### 1.1 多价值链协同产品开发需求分析

多价值链协同产品开发平台首先收集的是产品相关客户需求信息<sup>[4]</sup>,这需要技术人员按照一定模板手动导入,主要分为销量数据和评论数据。平台完成相关建模后,可以对产品设计方案的销量进行初步预测,便于企业确定产品方向。多价值链协同产品开发平台支持各类制造企业实施各类协同开发项目(如图1所示),对应众多的设计协作供应商<sup>[5]</sup>。当制造企业接收了协同产品开发项目需求

时,该企业将以自身为核心企业构建开发项目和协同设计链,从已建立良好协作关系的协作商名单中选择协作伙伴。当协作商名单的质量和数量不满足企业需求时,企业可以从平台中各类设计协作供应商中开发新的协作伙伴,并以平台数据作为参考,对新协作伙伴进行考核。若考核通过,则进行相应的协作签订等事宜,然后在平台中将新协作伙伴列入正式的协作商名单<sup>[6]</sup>。

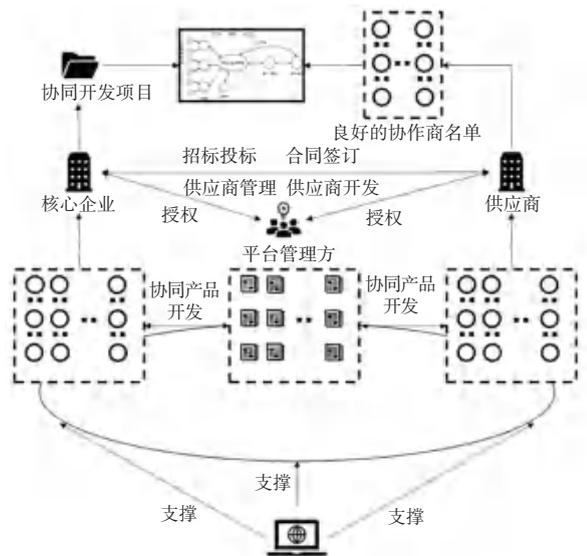


图1 多价值链协同产品开发模式

Fig. 1 Multi-value chain collaborative product development model

#### 1.2 业务流程集成服务需求分析

业务流程生命周期主要包括流程建模与流程运行两个过程<sup>[7]</sup>。业务流程建模与运行过程如图2所示,业务流程集成服务需要满足业务流程建模、业务流程配置、业务流程仿真、业务流程运行业务流程监控与分析、业务流程协同评价等需求。为此将展开研究论述如下。

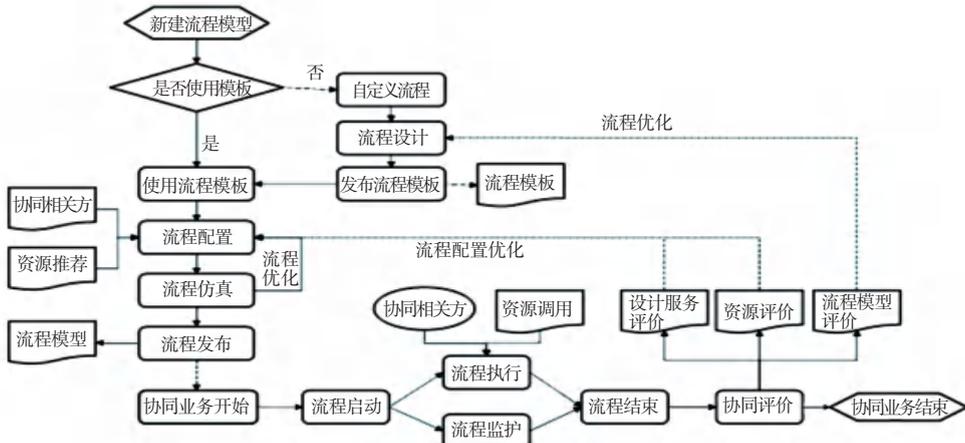


图2 业务流程建模与运行过程

Fig. 2 Business process modeling and operational processes

(1) 业务流程建模。流程设计人员首先根据业务需求创建流程模型,从模板库中查询是否有可用的流程模板,如果有,则直接通过流程模板新建流程模型,否则需要自定义流程。在流程建模阶段主要实现活动分解与编排。首先将工作划分为一系列可执行的活动组合  $O(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$ ,然后将这些活动根据先后顺序以及逻辑关系连接起来,形成包含过程链的活动集合  $C$ ,接着使用流程建模工具绘制流程图。

(2) 业务流程配置。流程配置主要指对流程模型中的各个活动以及流转条件进行配置,将每个人工任务分配给对应的协同企业,并将各类资源关联到每个任务中。人工任务组成的集合  $U(t_1, t_2, \dots, t_m)$  是流程活动集合  $O(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$  的子集,即  $U \subseteq O$ 。每个任务包含任务描述、输入、输出、任务优先级、工时等属性,任务可以分配给指定的某个或多个候选用户  $AU(u_1, u_2, \dots)$  或候选用户组  $AG(G_1, G_2, \dots)$ 。候选用户组由多组具有同种类型的用户组成,  $G_i$  可以是同一种角色(如:岗位、专业等)的用户集合,即  $G_i(u_1, u_2, \dots)$ ,也可采用动态分配方式,在流程配置时为任务  $t_i$  创建任务执行者变量  $v_i(i = 1, 2, \dots, m)$ ,当流程启动后,通过给变量  $v_i$

赋值以实现在流程实例中动态指定任务执行者。

系统会根据任务信息自动推荐相关资源,流程设计人员可以将需要的资源添加到任务资源中,也可以从资源库中根据资源类别、资源名称、资源来源等方式检索与添加资源。

(3) 业务流程仿真。流程建模完成后,可以在发布前进行流程仿真分析,进行模型验证与改善流程模型。流程仿真将流程模型分解为一系列单独的离散事件和活动,然后通过为每个流程实例设置开始时间、为每个活动设置满足某种分布条件的执行时间(如正态分布)、为流程网关的分支条件设置概率分布等方式,模拟流程在实际运行中的流转,通过可视化方式直观浏览仿真结果。

(4) 业务流程运行。流程启动后,每个流程实例将在流程引擎的驱动下运行,当流程运行到某个任务节点时,任务执行者可以进行接收任务、派发任务、完成任务、撤回任务等操作,流程运行过程中的任务状态变化如图3所示。在任务执行过程中可以浏览流程建模时关联的知识资源、数据资源与产品资源,调用软件资源与硬件资源,还可以与关联的专家等人才资源进行沟通。

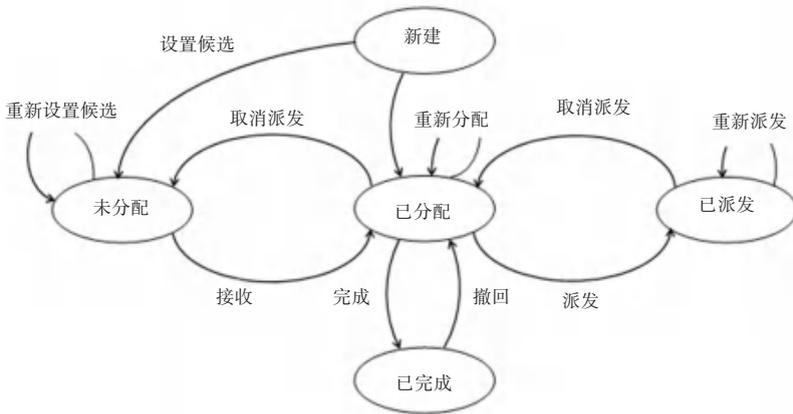


图3 流程任务状态变化过程

Fig. 3 Change process of process task state

(5) 业务流程监控与分析。选中某个运行中的流程实例,可以查看该流程的进度,在流程图中实时看到流程运转历史记录以及资源利用情况。当发现某个流程实例执行异常时可以暂停执行,并可选择暂停的时长,或手动启动。

流程管理员可以实时监控所有业务流程的流程实例,查看系统自动收集的流程、任务、协同企业、资源等方面的统计信息。其中包括流程实例统计、任

务统计、协同企业参与情况统计、资源利用统计。

通过对流程历史信息进行数据挖掘,可以识别关键任务节点与瓶颈任务、识别异常行为、预测流程完成时间、对流程实例下一个事件进行预测等。通过这些步骤可相应地进行流程优化,以提高工作效率,通过对协同企业的流程协同数据分析,可以支撑设计能力评估,帮助企业选择优秀的设计资源。

(6) 业务流程协同评价。流程结束后,各个业务

流程协作参与方需要进行协同评价,其中主要包含对供应商设计服务质量评价、资源推荐服务与资源质量评价、对流程模型的合理性与有效性进行评价。针对设计服务和资源质量的评价结果将作为流程配置的支撑,流程模型评价结果将促进流程模型优化。

## 2 系统设计

### 2.1 总体方案

基于对多价值链协同产品开发及其业务流程集成服务需求分析,提出了支持多价值链协同产品开

发的业务流程集成服务总体解决方案,如图4所示。

在外层部分,核心企业可以通过招标投标、合同签订等方式获得自己的协作企业,这些企业通常是核心企业的供应商。经过双方授权,协作双方可以在平台上进行协同产品开发<sup>[8]</sup>。双方在平台注册后,可以通过Web客户端进行登录,也可以通过平台与内部信息系统集成,直接由内部信息系统进行登录,这取决于双方的信息化水平。双方的项目信息、任务信息、设计信息、设计资源等通过平台交流和共享,实现协同开发。

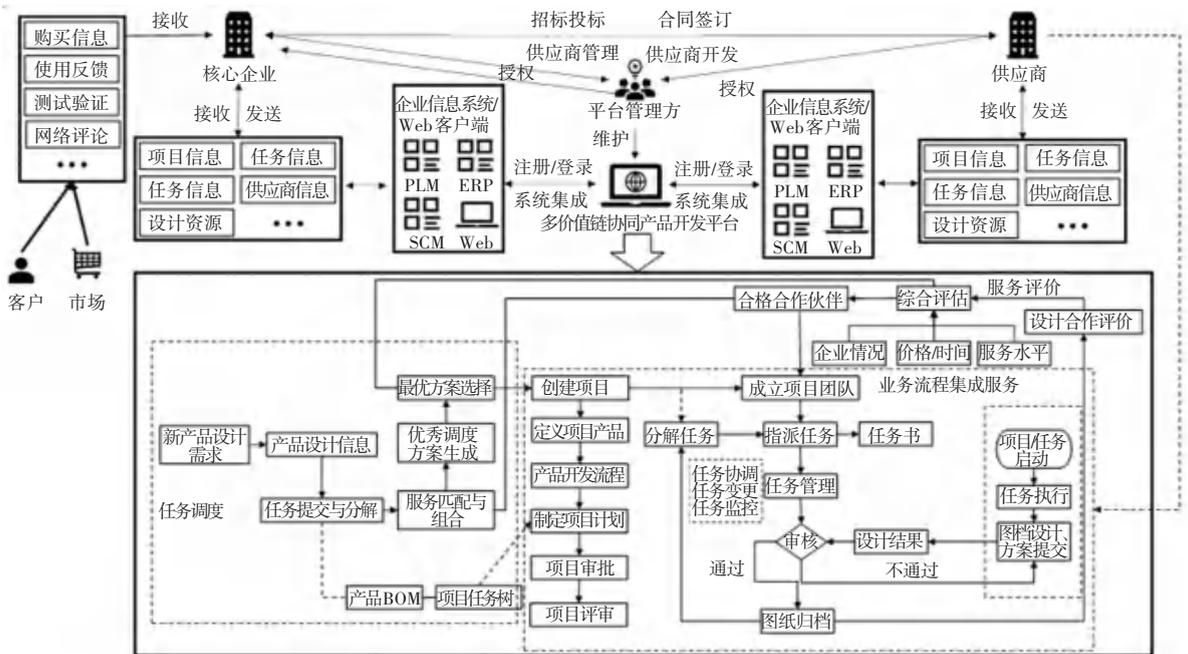


图4 支持协同产品开发的业务流程集成服务总体方案

Fig. 4 Total solution for business process integration services to support collaborative product development

在内层部分,多价值链协同产品开发平台主要实现了两大功能。一是客户需求分析,建立了基于评论大数据的产品销量预测模型<sup>[9]</sup>。二是供应商企业协同调度,对企业间任务调度分配、业务流程集成服务、服务协同评价等活动进行有序的管理,从而保证多价值链协同产品开发项目的顺利实施<sup>[10]</sup>。

### 2.2 系统总体架构

支持协同产品开发的业务流程集成服务系统架构如图5所示,主要由用户层、访问层、业务层、数据管理层和系统集成层五层模型构成。这里可做阐释分述如下。

(1)用户层。多价值链协同产品开发的运营主要包含平台运营方、企业、供应商三种类型的用户,其中平台及其运营商按照平台运营规则,为平台各

类用户提供各种服务。企业用户主要进行面向多价值链协同开发的任务调度、业务流程管理、服务评价等活动;供应商用户主要对核心企业的开发任务进行协作反馈,包括协同开发、协作申请等。此外,平台还将整合各种用户资源以及产品相关资源,实现跨企业、跨部门的信息协同。

(2)访问层。系统采用微服务架构开发,为各类用户提供统一的Web客户端,服务器统一部署在云平台上。另外系统还可与钉钉、企业微信等国内领先的移动办公平台进行集成,便于企业用户进行移动办公。

(3)业务层。提供公共基础服务、资源集成服务、流程集成服务以支撑企业服务、供应商服务和平台服务。

(4)数据管理层。用于对结构化数据以及非结构化数据进行有序化组织与管理。系统使用 MySQL、MongoDB、Neo4j 等数据库进行关系型、键值

型以及图谱数据存储;使用 Redis 作为分布式缓存系统以提高系统性能。

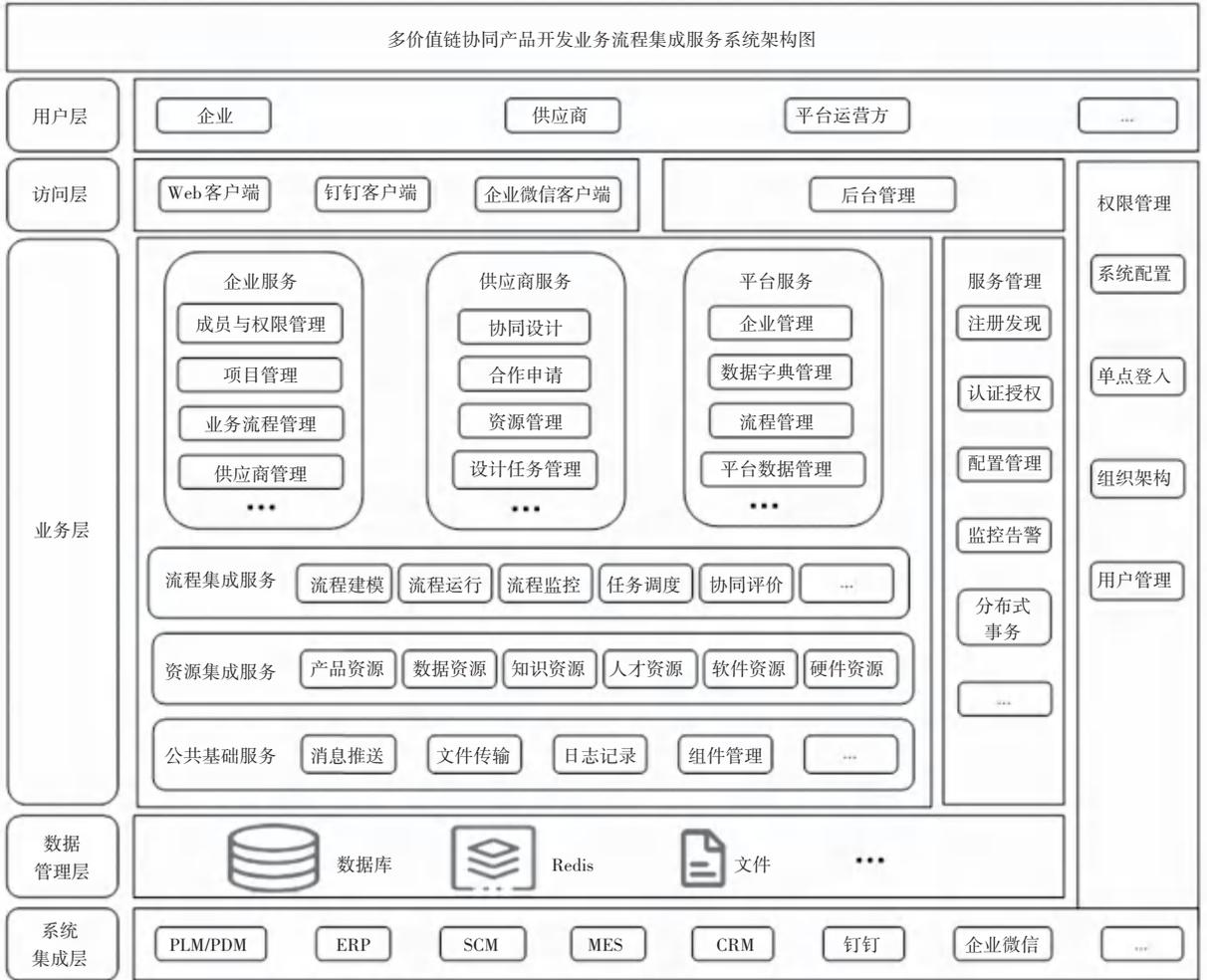


图 5 协同设计业务流程管理系统总体架构图

Fig. 5 Overall architecture diagram of collaborative design business process management system

(5)系统集成层。系统集成层是平台最重要的输入源之一,用于收集来自制造企业与供应商的产品设计生命周期中的数据。如:产品全生命周期管理系统(PLM)、产品数据管理系统(PDM)、企业资源计划系统(ERP)、制造执行系统(MES)、供应商管理系统(SCM)、客户管理系统(CRM)等。

bpmn-js(支持 BPMN2.0 的流程渲染和流程建模器)、bpmn-modle(支持 BPMN2.0 的 XML 文件读写模型)、diagram-js(显示和编辑图表的工具箱)、bpmn-js-token-simulation(符合 BPMN2.0 规范的流程模拟器)、properties-panel(属性面板工具箱)、form-js(基于 JSON 格式的表单编辑工具)。

2.3 系统功能模型

此外,系统基于 Camunda 工作流引擎开发业务流程集成服务。Camunda 是一个灵活的工作流和过程自动化框架,其核心是一个在 Java 虚拟机内部运行的原生 BPMN2.0 流程引擎,因此可以嵌入到任何 Java 应用程序或运行时容器中。使用基于 JavaScript 语言开发的开源流程建模工具包 bpmn-io 进行流程建模。bpmn.io 主要由如下部分组成:

基于系统的需求分析,对多价值链协同设计业务流程集成服务系统进行功能设计。系统功能架构如图 6 所示,主要包括:协作组织管理、数据字典管理、资源集成管理、项目与任务管理、业务流程集成管理等 5 个功能模块。

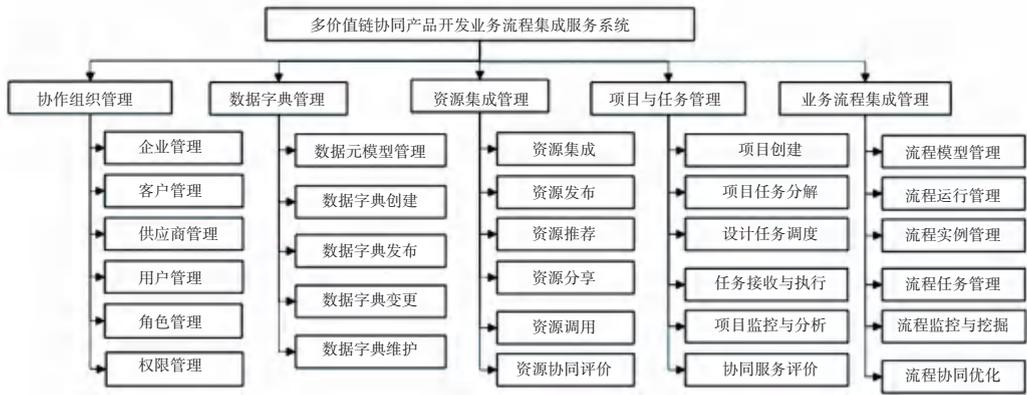


图6 系统功能架构

Fig. 6 System functional architecture

### 3 系统实现与企业应用

#### 3.1 企业应用背景

本文以家电企业 Y 公司及其协作企业群为案例进行研究, Y 公司是国内一家集研发、生产、销售、服务于一体的个人护理电器龙头企业, 主营产品包含衣物护理电器、美发护理电器、美容护理电器、美体(美肤)护理电器等。Y 公司设有产品研发中心, 下设 3 个研发部门, 企业于 2017 年引入 PLM 系统,

实现了产品研发过程的信息化管理。Y 公司的供应商总数有 380 家左右, 根据零部件类型可以分为原材料类、马达类、电线类、电子类、包装类、化学品类等。一般情况下, 产品设计主要由 Y 公司自主完成。随着企业产品种类及市场规模的发展壮大, 需要不断追求产品创新以增强市场影响力与竞争力, 因此加强与上游供应商产品协同开发的需求变得愈加强烈。Y 公司新产品研发流程如图 7 所示。

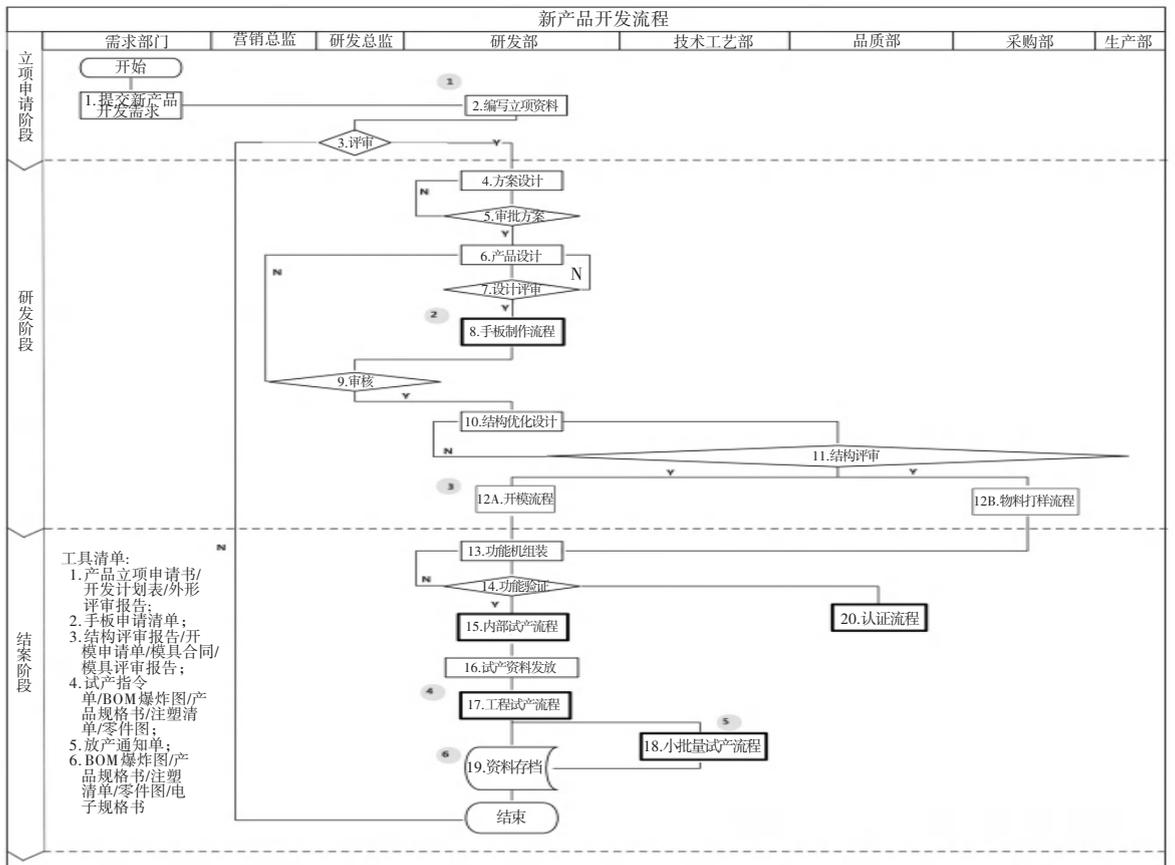


图7 Y公司新产品开发流程

Fig. 7 New product development process of company Y

经过对 Y 公司现有新产品研发流程的分析,发现存在一定的问题:

(1)不合理的零件设计顺序。由于一些配件的尺寸、材料等要求是互相约束的,不合理的设计顺序会造成设计过程的冲突,所以在项目创建开始,先要确定各个设计任务的顺序,

(2)缺少对协同设计过程的管理监督。在现有的业务流程中,项目负责人如果想要知道某个零件现在的设计进度是一个比较困难的事情,需要寻找相应的零件设计负责人询问,缺少对协同设计进程的监督,很容易因为某个零件的设计进度拖沓,耽搁了整个生产计划,给企业造成重大损失。

(3)缺少设计方案归档流程。由于企业通过设计方案之后直接使用,并没有将这些图文档归类保存,知识难以沉淀,此后的交流过程均是通过邮件或者微信等通讯工具,这些重要的图纸信息很容易丢失,安全性难以保障。

### 3.2 系统应用

结合 Y 公司对多价值链协同产品开发的需求

以及在产品协同开发过程中存在的问题,基于本文所提出的支持多价值链协同产品开发的流程集成服务方案,构建了面向 Y 公司及其协作供应商的业务流程集成服务系统,将其作为多价值链协同产品开发平台的子系统,其中包括流程模型生命周期管理、协作资源集成管理、协作组织管理、系统数据集成管理、协作流程建模与资源配置、流程运行与监控等技术方案。限于篇幅,本文仅介绍协作流程建模、流程运行两个主要功能。

#### 3.2.1 多价值链协同产品开发业务流程建模

Y 公司及其供应商应用的协同设计业务流程模型如图 8 所示,流程中所涉及到的协同相关方主要包括产品设计需求企业及其上游供应商,在本应用实例中,产品设计需求企业即 Y 公司。协同设计流程主要包含产品设计需求发布与交互、设计方案提交与评审、设计合同制定与评审、产品设计、设计打样与验证、设计成果提交与评审、合同验收、设计成果归档等过程。具体协同过程如下:

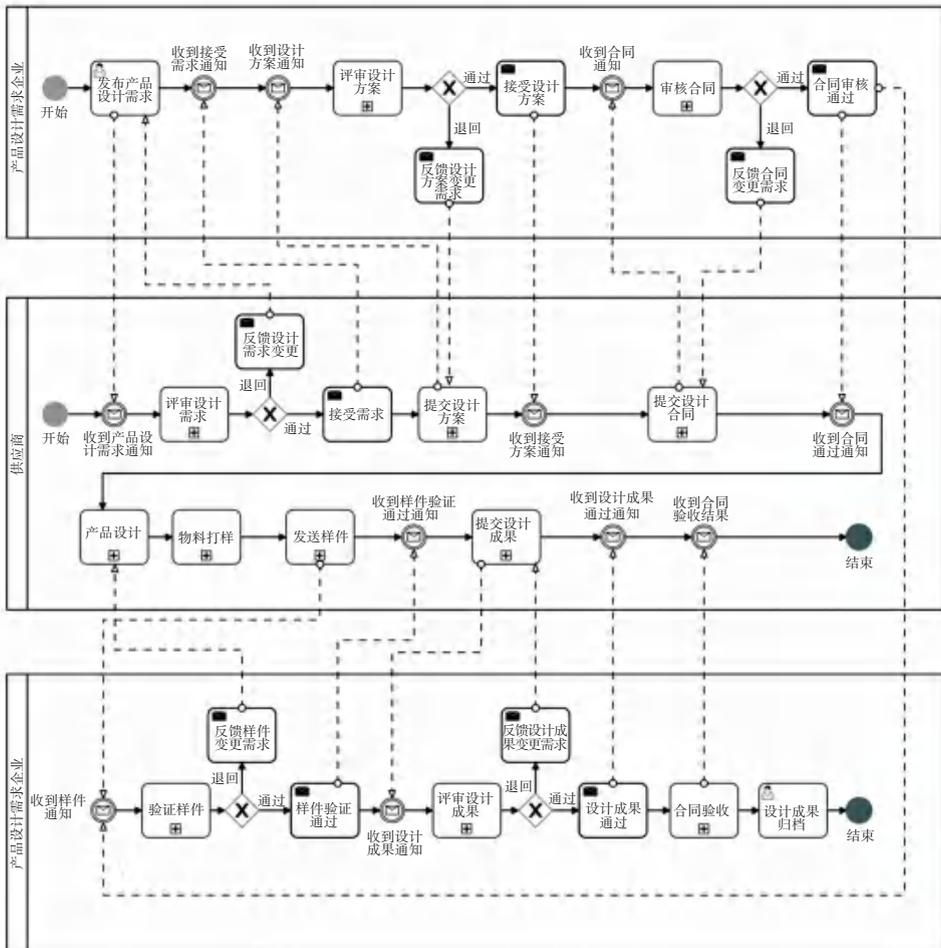


图 8 多价值链协同设计业务流程模型

Fig. 8 Multi-value chain collaborative design business process model

(1)发布产品设计需求。Y公司的设计任务负责人需先发布产品设计需求,填写零部件设计要求,包括产品规格、工艺要求、质量要求、成本、设计周期、样件数量等。

(2)评审设计需求。供应商内部对Y公司发布的设计需求进行评审,如果无法满足对方的要求,可以将需求反馈给Y公司,流程将自动回退到上一节点,Y公司根据反馈信息调整设计需求,直至需求评审通过。

(3)提交设计方案。需求交互完成后,供应商须在双方约定的设计周期内提交初步的设计方案。

(4)评审设计方案。Y公司设计任务负责人可以在线浏览供应商提交的设计方案,与其他任务负责人以及项目负责人共同对设计方案进行评审,如果评审不通过可以反馈修改意见,流程将回退到供应商提交设计方案节点。

(5)提交设计合同。设计方案评审通过后,供应商根据Y公司设计要求拟定设计合同。

(6)评审合同。Y公司任务负责人、项目负责人、研发主管等成员依次对供应商提交的设计合同进行评审,若合同不符合要求,可以反馈修改意见并退回供应商,要求其重新提交设计合同。

(7)产品设计。设计合同评审通过后,供应商可启动产品设计过程。在设计过程中,供应商可以随时上传产品设计进度,Y公司可以监督设计进度并反馈设计意见。产品设计完成后由供应商内部先进行设计评审。

(8)设计打样。供应商完成产品设计后进行设计打样,打样完成进行样品检验与包装。

(9)送样评审。供应商送样人员在约定时间内将包装好的样品运送至Y公司指定的地点。

(10)验证样件。Y公司设计任务负责人安排开展样件验证工作,如果样件不符合要求,可以填写反馈意见并要求供应商重新进行设计打样,供应商需要进行新一轮的设计修改,直至样件评估通过。

(11)提交设计成果。样件评估通过后,供应商需要根据设计合同要求提交产品设计成果,包括最终的设计方案、设计图纸、工艺文件等。

(12)评审设计成果。Y公司任务负责人在收到设计成果后组织企业内部成员对设计成果进行评审。

(13)合同验收。Y公司在设计成果评审通过后进入设计合同验收环节,根据合同内容与实际执行情况进行评审。

(14)设计成果归档。Y公司任务负责人将供应商提交的设计成果进行归档,经过评审后将零部件设计成果输入PLM系统,完成设计任务。

### 3.2.2 多价值链协同产品开发业务流程运行

Y公司项目负责人进行任务分解以后,将多价值链协同任务分派给项目成员,任务负责人根据项目负责人分派的任务编辑多价值链协同设计任务信息,选择协同设计流程模板,然后发布任务,系统将自动启动协同设计流程,并将协同设计任务推送给经过调度算法选定的供应商,如图9所示。

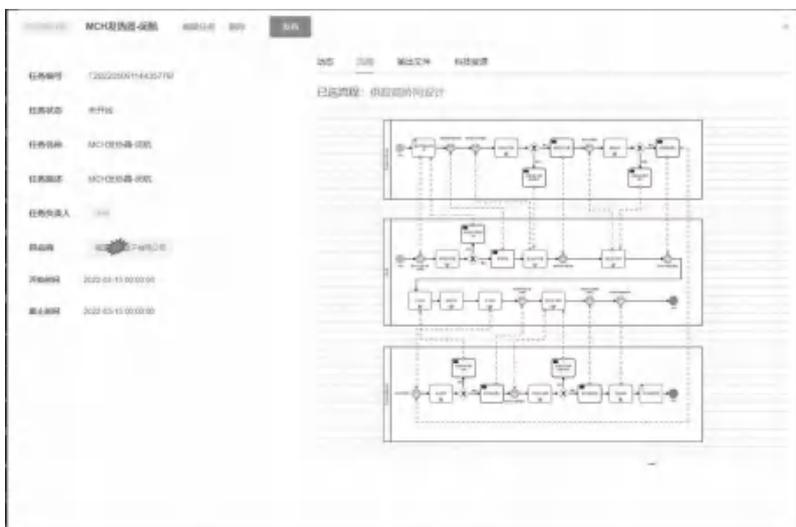


图9 协同设计任务发布与流程启动

Fig. 9 Co-design task release and process initiation

流程启动以后,参与协同设计的双方根据流程任务流转过程进行协同,在任务管理工作台查看与调用当前任务关联的资源,完成各自负责的工作,并提交输出成果,直至流程结束,在任务执行过程中,任务负责人可以将任务派发给其他成员执行,也

可以启动子流程来实现当前任务目标。图10为任务办理界面,可以查看流程运行记录,包含流程中每项任务的任务类型、执行时间、执行者、输出内容等信息,可以查看流程进度,上传任务执行输出资料等。



图10 流程任务执行

Fig. 10 Process task execution

## 4 结束语

本文针对多价值链协同产品开发面临的协同业务流程复杂多变、协同过程管控困难、协同资源分散等挑战展开研究,提出了支持多价值链协同产品开发的业务流程集成服务解决方案,构建了业务流程集成服务系统。最后将本文的研究成果应用到家电企业Y公司及其上游供应商的新产品协同开发实践中,对多价值链协同产品开发的业务流程集成服务方案进行了应用验证。

## 参考文献

- [1] PANDEY N, PATWARDHAN A A, RAO S. Four decades of new product development research: An integrative review [J]. International Journal of Product Development, 2019, 23(1): 1-14.
- [2] RAYNA T, STRIUKOVA L. From rapid prototyping to home fabrication: how 3D printing is changing business model innovation [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 102:214-224.
- [3] 顾新建,陈发熙,杨志雄,等. 网络化协同设计方法的研究[J].

- 中国机械工程,2002(6):37-39,4.
- [4] NAEEM H M, MARIA D E. Customer participation in new product development: an Industry 4.0 perspective [J]. European Journal of Innovation Management, 2021, 25(6): 637-655.
- [5] NOBLE C H, KUMAR M. Exploring the appeal of product design: A grounded, value-based model of key design elements and relationships [J]. Journal of Product Innovation Management, 2010, 27(5): 640-657.
- [6] FLANKEGRD F, GRANLUND A, JOHANSSON G. Supplier involvement in product development: Challenges and mitigating mechanisms from a supplier perspective [J]. Journal of Engineering and Technology Management, 2021, 60(2): 101628.
- [7] 顾新建,杨青海. 产品模块化是中国成为制造强国的必由之路—解读《机电产品模块化设计方法和案例》[J]. 中国机械工程, 2018, 29(9): 1127-1133.
- [8] NGUYEN H A, NGUYEN H, NGUYEN H T, et al. Empirical study on the role of collaboration in new product development in manufacturing companies [J]. International Journal for Quality Research, 2018, 12(2): 363-384.
- [9] 肖凯泽,咬登国. 互联网+多核服务价值链业务协同系统研发与实现[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(7): 14-16, 66.
- [10] 崔贺理,李随成,乔建麒. 买方企业产品开发中供应商创新整合效能的提升机制研究 [J]. 管理学报, 2022, 19(7): 1064-1070, 1091.