

## 面向服务型制造的产品设计信息集成方法

张凯, 赵武\*, 王杰, 郭鑫

(四川大学 制造科学与工程学院, 四川 成都 610065)

**摘要:**随着制造业与服务业的不断融合,服务在制造业中发挥着越来越重要的作用。为了辅助设计者在产品设计过程中实现产品的可服务性,提出一种面向服务型制造的产品设计信息集成方法。为实现产品设计信息的集成,首先分析了产品全生命周期中制造与服务之间的关系,提出了制造与服务的融合模式,并以服务型检核表的形式引导设计者进行产品可服务性创新设计。分析了服务型制造各阶段中信息的流动和映射模式,提出了以决策模块、设计模块、制造模块、运行维护模块和回收模块5大模块为驱动的服务型制造信息集成策略,构建了服务型制造信息框架结构。在此基础上,为合理组织产品设计、制造、服务等信息资源并有效支持服务和制造过程,提出了一种基于模块驱动的服务型制造信息集成模型。考虑到产品设计各阶段所需的信息资源需要经过收集、组织、匹配等过程才能为设计者所用,采用本体语义扩展对服务策略和服务知识进行规范表达,以实现信息服务。该方法以驱动模块将产品全生命周期中各阶段所需的信息与业务流程建立起联系,用于对服务型制造所需信息资源的追踪和运用。最后,开发了服务型制造产品设计信息集成原型系统,并以废旧印刷电路板的回收作为案例,验证了该方法的可行性和有效性。

**关键词:**服务型制造; 产品设计; 可服务性; 模块驱动; 信息集成

中图分类号:TP391

文献标志码:A

文章编号:2096-3246(2018)02-0204-08

### Information Integration Method of Product Design for Service-embedded Manufacturing

ZHANG Kai, ZHAO Wu\*, WANG Jie, GUO Xin

(School of Manufacturing Sci. & Eng., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

**Abstract:** With the continuous integration of manufacturing and service industries, service plays an increasingly important role in the manufacturing industry. In order to assist designers to achieve product serviceability in the product design process, an information integration method of product design for service-embedded manufacturing was proposed. In order to realize the integration of product design information in the whole life cycle of product, the relationship between manufacturing and service was analyzed firstly, and the integration model for manufacturing and service was proposed. Then the service check list was used to guide designers to focus on the innovation design for product serviceability. The flow and mapping model of information in each stage of service-embedded manufacturing was analyzed, a strategy of information integration was put forward, which consists of five modules of decision-making module, design module, manufacturing module, operation and maintenance module, and recovery module, and the information framework structure of service-embedded manufacturing was constructed. On this basis, an information integration model based on module-driven for service-embedded manufacturing was proposed to organize information resources of design, manufacture, service etc. and support services and manufacturing effectively. Due to the information resources required in each stage of product design need to be collected, organized and matched so as to be used by designers, the ontology semantic extension could be used to standardize the service strategy and service knowledge to realize the information service. In the whole life cycle of product design, the driving module could link up the required information with business process to help enterprises to track and apply the required information resources for service-embedded manufacturing. Finally, a prototype system of product design information integration was developed, and the recycling of waste printed circuit

收稿日期:2017-05-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51435011); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20130181130011)

作者简介:张凯(1984—),男,博士生。研究方向:创新设计理论及方法。E-mail: zksu2005@163.com

\* 通信联系人 E-mail: zhaowu@scu.edu.cn

网络出版时间:2018-03-18 23:26:42

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1773.TB.20180318.2326.008.html>

<http://jsuese.ijournals.cn>

<http://jsuese.scu.edu.cn>

boards was used to illustrate the practicability and validity of the proposed method.

**Key words:** service-embedded manufacturing; product design; serviceability; module-driven; information integration

随着经济全球化的不断推进,服务在现代制造业中发挥着越来越重要的作用<sup>[1]</sup>。服务业与制造业之间的相互渗透和相互影响也越来越明显<sup>[2]</sup>。制造业的价值获取不再仅仅局限于传统模式下的加工制造领域,而是通过向客户提供高附加值的“产品+服务”型产品,逐步延伸到了服务领域<sup>[3]</sup>。

基于制造模式的变化,一些学者提出了服务型制造的概念。服务型制造的产品是用以满足客户需求的产品服务系统,它是基于制造的服务,是为了服务的制造<sup>[4-5]</sup>。在服务型制造模式下,企业必须灵活组织制造信息与服务信息,合成符合客户需求的资源与服务,才能最大程度地发挥服务型制造的优势<sup>[6]</sup>。因此,服务型制造的信息集成作为一个涉及多因素的多目标决策问题,引起了国内外大量学者的广泛关注。Li等<sup>[7]</sup>从运营管理的角度研究了产品服务系统建模和优化问题,对怎样制定生产决策和附加服务能力决策提出了理论依据。Song等<sup>[8]</sup>在服务功能属性分析、群体决策及TRIZ理论的基础上提出了产品服务型产品(product-service offerings)服务冲突识别与分解的系统性方法。王明微等<sup>[9]</sup>提出了一种基于语义的跨组织协同业务流程构建框架,以制造服务为业务活动功能的实现载体,实现业务逻辑与技术之间的耦合。为完成服务型制造中知识密集的产品服务配置活动,沈瑾等<sup>[10]</sup>基于本体和神经网络规则抽取技术,从配置知识的表达、获取和推理等关键功能出发,提出一套完整的产品服务配置方法。上述研究在一定程度上促进了服务型制造的发展,但总体上还处于初步的理论分析阶段。这些研究,或没有系统化的方法,只有信息集成框架,不能直接集成制造-服务信息;或信息集成的对象局限于服务,缺乏服务与产品之间的关联。因此,上述研究无法系统地辅助设计者进行服务型制造信息的集成。为实现服务型制造信息集成,作者通过对产品设计周期各个阶段的信息进行映射,提出了一种基于模块驱动的信息集成方法,并以废旧印刷电路板的回收验证了该方法的有效性。

## 1 服务与制造的融合

服务型制造是为了实现制造价值链中各利益相关者的价值增值,通过产品和服务的融合、客户全程参与、企业相互提供生产性服务和服务型生产,实现分散化制造资源整合的一种制造模式<sup>[4]</sup>。服务型制造是在传统产品的基础上融入了相关的服务,形成了

“产品+服务”的模式。服务型制造产品全生命周期中都有相应的服务与制造过程相融合,融合模式如图1所示。

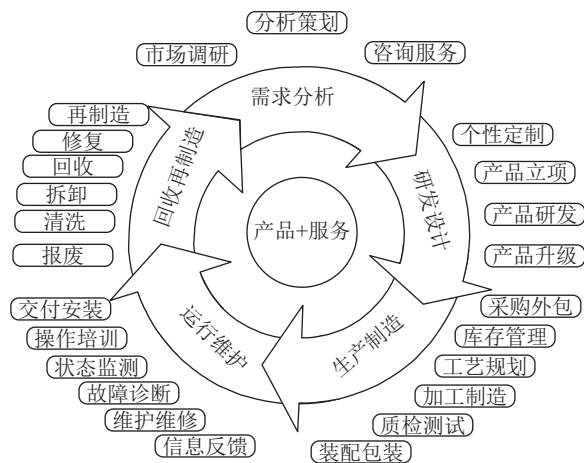


图1 服务与制造的融合模式

### Fig.1 Integration model for manufacturing and service

服务型制造产品周期可分为需求分析、研发设计、生产制造、运行维护及回收再制造5个阶段,每个阶段都需要相关的服务加以支持。需求分析阶段,市场调研和咨询服务用于帮助企业获得客户需求;分析策划服务用于帮助企业了解、分析、转换及预测客户需求;研发设计阶段,个性化定制服务可针对客户的差异化需求,按需定制,提供满足客户需求的个性化产品;研发设计和产品升级服务是企业提升产品功能和质量最基本的服务内容;生产制造阶段,采购外包服务用于非核心零部件的快速获取;加工制造与质检测试服务是企业以相应的生产设备和生产、加工、装配、检测等技术保证产品的加工质量。运行维护阶段,交付安装和操作培训服务是为保证产品的正确安装和正常运行,企业提供的现场服务工作;状态监测、故障诊断和信息反馈服务是对客户使用产品进行作业的过程中所表现出来的特征加以收集、整理和分析,以指导客户有针对性的选择设备及运行参数。回收再制造阶段,报废、清洗、拆卸服务用于处理失效的产品,为后续的再资源化做准备;回收、修复、再制造服务一方面有利于节约资源和保护环境,另一方面有助于企业发现其在产品设计过程中未曾注意到的设计缺陷。

## 2 服务型制造信息集成

### 2.1 产品可服务性选择策略

由于制造业与服务业之间的相互渗透越来越明显,设计者在产品研发过程中应更多的考虑产品的

可服务性。由第1节分析可知,产品在不同设计阶段所需的服务模式和技术手段是不同的。为了辅助设计者更有针对性地考虑产品的可服务性,提出了一种服务型检核表法<sup>[11]</sup>,如表1所示。

表 1 服务型检核表

Tab.1 Service check list

服务角度	服务问题
用户	用户如何自主增加、减少、改变、替换产品的某些部件
服务机制	是用户、生产企业,还是第三方提供服务,怎样服务
服务集成	用户和企业如何集成,设计、制造和使用过程如何集成
可靠性	提高产品质量还是服务质量,如何提高
维修性	如何有利于拆装,如何有利于清洗,如何有利于更换
回收性	如何有利于分离,如何有利于再生,如何有利于再制造
绿色化	如何在生产、使用、维修、回收过程中实现绿色化

该方法用一张一览表对需要服务的产品功能逐项校验,从不同角度诱发产品的可服务性设想,以促进设计者进行产品可服务性的创新设计。

## 2.2 服务型制造信息集成框架

与传统的制造模式相比,服务型制造中的信息量更为庞大而复杂。服务型检核表法虽然向设计者提供了思考的角度和方向,但设计思路的实现最终取决于设计者拥有的有效信息和知识。因此,研究服务型制造产品信息集成显得尤为重要。为快速有效地获取制造与服务信息,作者提出了一种基于模块驱动的服务型制造信息集成框架,用以描述产品生命周期各阶段所需的信息资源及信息的流动形式,如图2所示。

服务型制造所需的信息资源是动态流动的,产生于不同企业的不同部门及各个业务流程之间。不可能采用一个模块集成产品全生命周期的所有信息,须采用一组模块分阶段地集成信息。根据产品生命周期的阶段划分,提出了决策模块、设计模块、制造模块、运行维护模块和回收模块,这5个模块共同组成了产品信息集成框架。

决策模块封装了企业规划所需要的决策信息,包括市场运行动态、客户心理、投产规模和社会环境影响等,这些信息总体上反映了客户对产品的需求以及企业面临的实际状况。设计模块包含了企业现有的和可能有的设计信息资源,它封装了设计者的设计经验及其对产品的描述,如设计任务、产品功能、产品结构等信息。制造模块封装了设计的实现所需要的资源信息,如生产计划信息、加工对象信息、制造资源信息、加工过程信息等。运行维护模块集中了产品由企业到达客户手中所需的一系列信息,如交付、安装调试、运行监测、故障诊断、维护维修等,

反映了产品在移动过程中可能表现出的状态。回收模块封装了产品失效后的相关信息,反映了产品在完成功能性服务后表现出的状态,如可拆卸性、可再生性、再资源化性、可重用性等。

这5个模块是独立存在的,又是相互联系的,它们之间存在着各设计阶段间的信息流动和映射关系。正是这5个模块的相互补充、相互影响,共同组成了信息集成模型。

## 2.3 服务型制造信息集成模型

实现基于模块驱动的服务型制造信息集成,需要一个工作平台,它包括一系列的方法、工具和组件。作者提出了基于模块驱动的服务型制造信息集成模型,如图3所示。该信息集成模型主要分为服务模块层、业务流程层、服务策略层、服务组件层和知识资源层。

### 1) 服务模块层

服务模块层是服务型制造服务平台功能的具体表现,是服务型制造的综合门户和服务提供者登录的入口。服务模块层与服务提供者的操作直接接触,通过不同的模块将信息和业务进度展现给服务提供者,以支持其进行服务型制造的相关作业。

### 2) 业务流程层

业务流程层依据服务型制造流程对服务策略、服务组件和知识资源进行逻辑联结,并将服务平台中零散的服务有序地组织起来,结合服务提供者的具体需求,部署各类资源通过不同方式服务各阶段的业务对象,以提高服务质量。

### 3) 服务策略层

服务策略和知识以服务方法和设计工具的形式提供给服务提供者支持业务流程。服务策略层可将各类知识资源封装为可供访问的知识服务。服务提供者可通过服务的匹配和调用,找到符合业务流程不同阶段的服务策略,最终实现服务支持。

### 4) 服务组件层

服务组件层是为实现设计策略方法的可操作性而设计的。该层根据服务策略和业务流程的映射关系进行分析,通过语义标注和逻辑关系绑定的方式把服务策略封装成服务组件,并建立服务组件和计算机之间的衔接关系,从而为自动选取策略服务以支持业务流程做准备。

### 5) 知识资源层

知识资源层为服务提供信息源,主要有需求分析知识、创新设计知识、生产制造知识、物流管理知识、运行维护知识、回收再制造知识、评估优化知识等。该层为各类服务信息资源提供存储空间,并建立知识资源与服务策略之间的映射关系,从而实现服



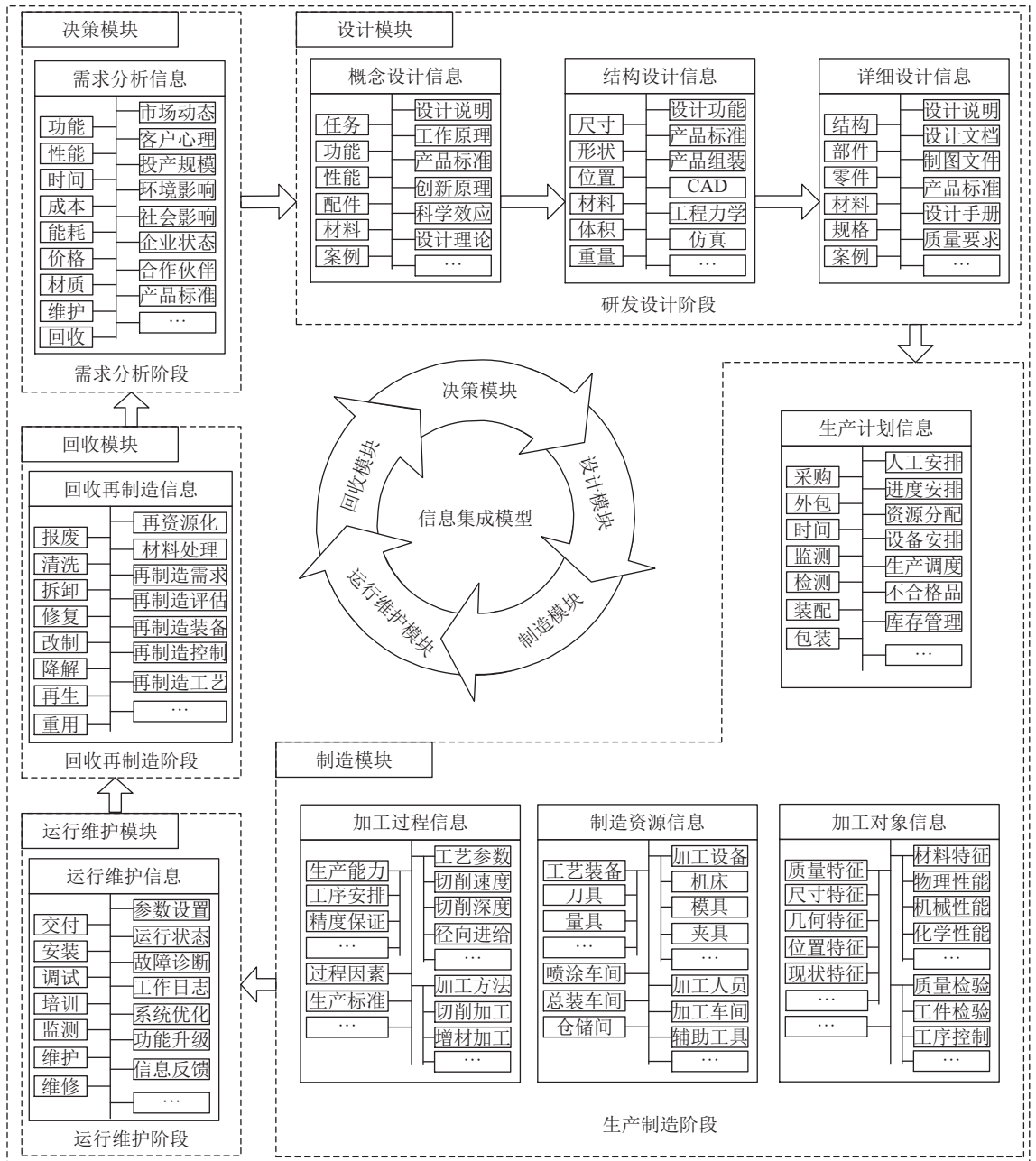


图 2 基于模块驱动的服务型制造信息框架

Fig.2 Information framework based on module-driven for service-embedded manufacturing

务策略与知识资源的交互关系, 为整个业务流程的信息集成做准备。

### 2.4 信息服务的实现

基于模块驱动的服务型制造各阶段所需的信息资源需要经过收集、规范化处理、搜索、匹配及调用等过程才能为设计者所用。为消除信息匹配产生的歧义, 对服务策略及服务知识进行了本体语义扩展<sup>[12]</sup>。服务策略可表示为:

$$SC = (CM, CA, RK, CC, CI) \quad (1)$$

式中:  $SC$  表示服务策略;  $CM$  表示服务策略的设计方

法, 针对具体的服务对象提供相应的方法;  $CA$  表示服务策略的设计能力, 是具体的设计方法所表现出来的服务效果;  $RK$  表示服务策略与知识的关系, 是服务策略与其所需知识之间的匹配集合;  $CC$  表示该服务策略与其他服务策略的逻辑关系, 是服务策略与服务策略之间的映射集合;  $CI$  表示服务策略的使用案例。

相应地, 服务知识可表示为:

$$SK = (KP, KO, RC, KK, KI) \quad (2)$$

式中:  $SK$  表示服务知识;  $KP$  表示初始的知识资源, 如

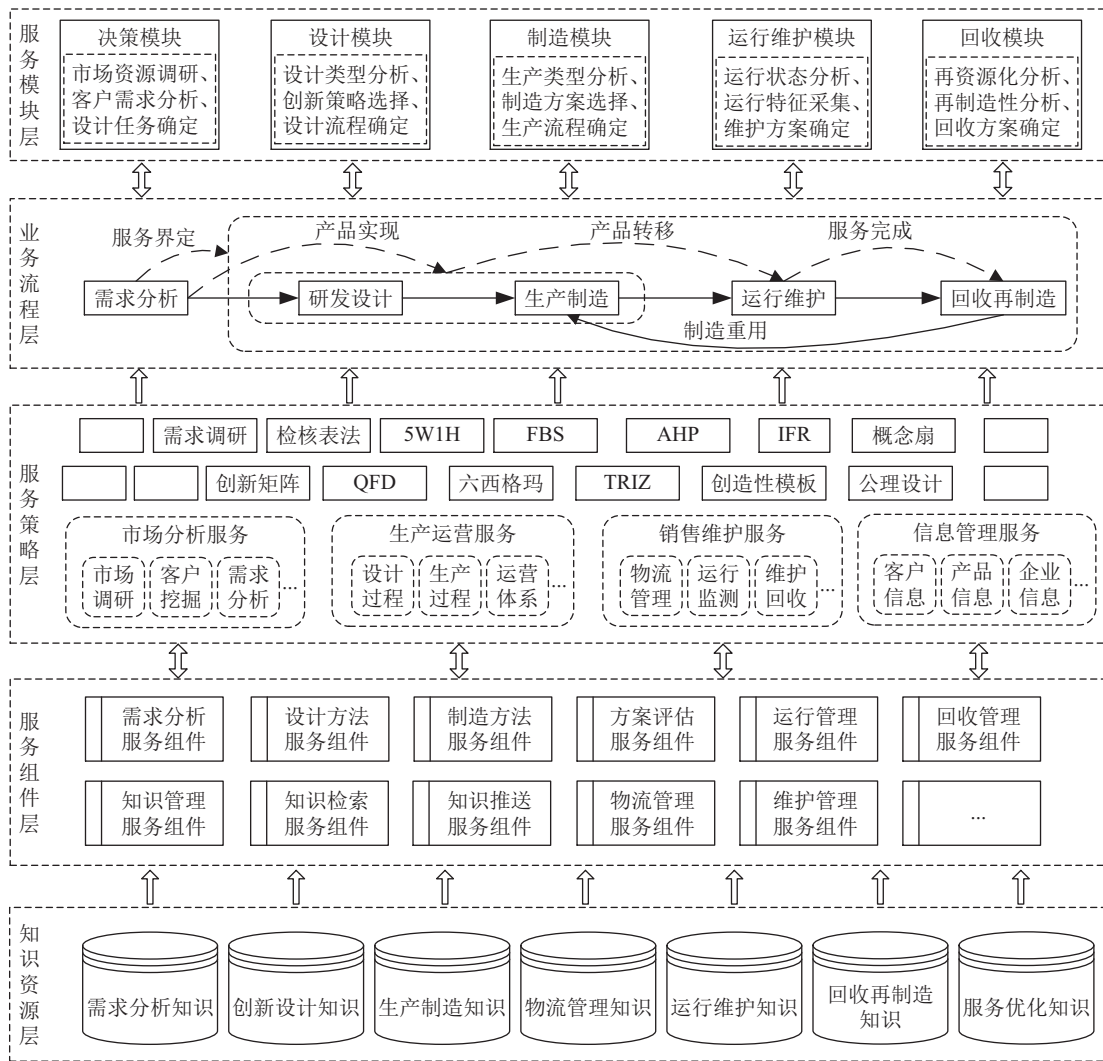


图 3 基于模块驱动的服务型制造信息集成模型

Fig.3 Information integration model based on module-driven for service-embedded manufacturing

网页、图片等未经规范表达的知识； $KO$ 表示知识规范表达的规则，经规范表达后可得到统一格式的知识资源，包括知识标号、知识描述、知识类型、知识所属领域等； $RC$ 表示知识与相关的服务策略之间的映射关系，是知识与服务策略之间的匹配集合； $KK$ 表示知识与知识之间的映射关系集合，是多项知识共同作用于同一服务策略； $KI$ 表示服务知识的使用案例。

服务策略的实现须依靠知识的支持，在服务型制造的不同阶段所需的服务策略与服务知识是不同的。服务组件是将业务流程中某个阶段所需的服务策略与服务知识进行有规则的封装，从而形成可直接用于支持服务活动的服务集。服务组件可表示为：

$$\begin{aligned}
 SZ &= SC_1(SK_{11}, SK_{12}, \dots, SK_{1m}) \rightarrow \\
 &SC_2(SK_{21}, SK_{22}, \dots, SK_{2m}) \rightarrow \\
 &\dots \rightarrow SC_n(SK_{n1}, SK_{n2}, \dots, SK_{nm})。 \quad (3)
 \end{aligned}$$

式中， $SZ$ 表示服务组件， $SC$ 表示服务策略， $SK$ 表示

服务知识。一系列的服务策略与服务知识有序结合便形成了服务组件。

### 3 原型系统的实现及案例研究

基于Java平台在Java eclipse开发环境下，以SQL Server作为设计知识的存储与管理数据库，采用本文所述的方法开发了面向服务型制造的产品信息集成原型系统。

该原型系统的运行流程分为分析阶段、执行阶段和评估阶段3个阶段，如图4所示。

分析阶段是针对服务请求，在服务型检核表的帮助下确定服务方向并进行业务流程建模；执行阶段是原型系统运行的核心，该阶段针对具体的服务方向，在服务组件和知识资源的支持下，确定服务策略并生成服务方案；评估阶段是在系统运行环境中加载、评估和执行服务方案的过程。

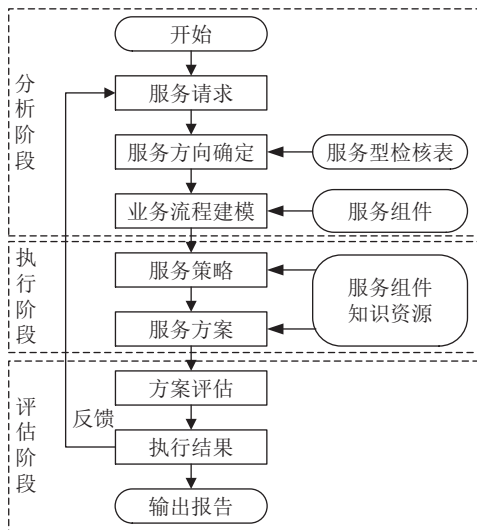


图4 原型系统运行流程

Fig.4 Operation process of prototype system

为了展示本文所述的产品可服务性设计方法和原型系统的功能,下面以废旧印刷电路板的回收作为示例。

印刷电路板是电子电气产品的重要组成部分,全世界每年要产生大量的废弃的电子电气设备<sup>[13]</sup>。废旧印刷电路板(WPCBs, waste printed circuit boards)包含许多电子元器件,当其被丢弃时,还远未达到使用寿命,仍具有较高的可用性和可靠性。丢弃后不仅是对资源的浪费,还会污染环境。因此,必须对WPCBs进行回收。

WPCBs的回收步骤如下:

步骤1: 服务方向确定。首先,根据服务方向策略 $SC_{方向}$ 确定服务任务,并根据服务型检核表法 $SK_{检核表}$ 从不同的服务角度进行思考。根据形成的服务集 $SC_{方向}(SK_{检核表})$ 可获得多种服务设想,如表2所示。

表2 WPCBs服务方向

Tab.2 Service direction for WPCBs

服务角度	服务问题	服务思路
用户	如何增加、减少、改变、替换产品的部件	模块替换
维修性	如何拆装,如何清洗,如何更换	拆卸工艺流程,利于拆卸的装配制造
回收性	如何分离,如何再生,如何再制造	解焊技术,自动降解
绿色化	生产、使用、维修、回收过程中实现绿色化	有效传递能量而不损耗资源

然后,对获得的服务设想进行深入分析,选择深入分析服务策略 $SC_{评估}$ 对各种服务设想加以评定,并调用QFD理论知识 $SK_{QFD}$ 帮助设计者分析每条设想与电路板回收之间的关系。根据形成的服务集 $SC_{评估}(SK_{QFD})$ 最终确定回收设计的方向:与印刷电路

板回收有关的设想主要有“模块替换”“解焊技术”“拆卸工艺流程”“利于拆卸的部品制造”“自动降解”和“有效传递能量而不消耗资源”等。

步骤2: 服务方案获取。通过FBS策略 $SC_{FBS}$ 对印刷电路板的功能与结构进行分析,完成对原理知识 $SK_{原理}$ 与结构知识 $SK_{结构}$ 的调用,形成服务集 $SC_{FBS}(SK_{原理}, SK_{结构})$ 。根据 $SC_{FBS}(SK_{结构}, SK_{原理})$ 对印刷电路板结构的分析,获悉拆卸是回收WPCBs的关键一步。通过制造装配策略 $SC_{装配}$ 对印刷电路板的拆装进行分析,完成对工艺知识 $SK_{工艺}$ 的调用,形成服务集 $SC_{装配}(SK_{工艺})$ 。根据 $SC_{装配}(SK_{工艺})$ 可知,“解焊”是印刷电路板拆卸的难点。“解焊”包括焊锡的熔化和元器件引脚从电路板上分离。调用工艺知识 $SK_{工艺}$ 、物理知识 $SK_{物理}$ 及化学知识 $SK_{化学}$ 分析解焊技术,形成服务集 $SC_{拆卸}(SK_{工艺}, SK_{物理}, SK_{化学})$ ,获得了一系列的解焊技术方案,如“机械交互作用解焊方案”“热能与分子的交互作用解焊方案”“化学的交互作用解焊方案”“电子的交互作用解焊方案”“磁的交互作用解焊方案”“电磁与辐射的交互作用解焊方案”等,如图5所示。

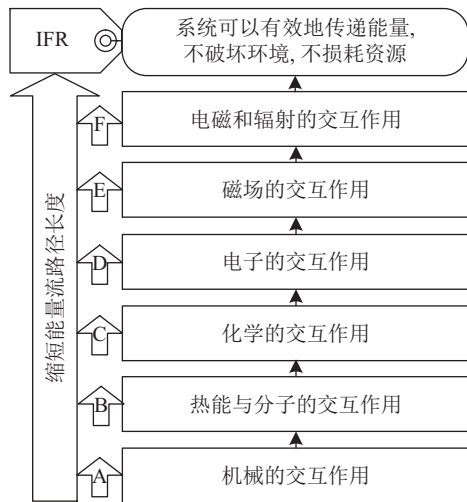


图5 WPCBs解焊技术方案

Fig.5 Desoldering technology scheme for WPCBs

步骤3: 服务方案评估。针对步骤2获取的解焊技术方案,通过最终理想解(IFR)策略 $SC_{IFR}$ 对各种解焊方案进行评估,完成对物理知识 $SK_{物理}$ 、化学知识 $SK_{化学}$ 及服务优化知识 $SK_{优化}$ 的调用,形成的服务集 $SC_{IFR}(SK_{物理}, SK_{化学}, SK_{优化})$ 。根据IFR原理可知,回收WPCBs的理想状态是在满足环保要求的前提下以更低的能源消耗实现电路板的拆卸。相应地,解焊技术的最终理想解为:成功去除焊锡并分离电子元器件与基板时不破坏环境,也不损耗资源。根据服务集 $SC_{IFR}(SK_{物理}, SK_{化学})$ 对WPCBs解焊技术方案进行评估,评估结果如图6所示。

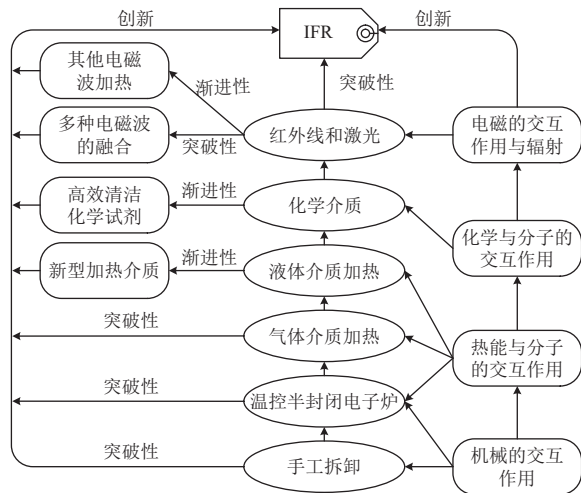


图 6 WPCBs解焊技术方案评估

Fig.6 Scheme evaluation of desoldering technology for WPCBs

手工拆卸,是将WPCBs置于煤炉上的金属板上烤,待电路板上的焊锡熔化,通过敲打去除焊锡并使部分元器件震落;这一方法虽然简单,但污染大。热对流熔焊,是将空气或氮气作为传热介质,加热后与WPCBs接触,加热焊锡,达到其熔点,从而达到拆卸元器件的目的;该技术设备制造简单,但利用气体作为导热介质,导致温度可控性差,热能利用率不高。液体介质加热法,采用油、石蜡、熔融盐等作为液体介质进行加热,使焊锡在介质中熔化,通过振动器让熔化的焊锡振落;拆卸后的元器件会受到加热介质的污染,且加热熔化焊锡的同时也可能对元器件造成损伤。焊锡溶解,采用硝酸和过氧化氢两种蚀刻剂去除球栅阵列封装芯片和单列直插内存模块上的锡铅焊料,当焊点之间的距离较小时需要将蚀刻剂喷洒进入间隙进行溶解,增加了操作的难度;而利用在常温下呈液态的腐蚀性很强的元素镓扩散到焊锡与元器件的联接部分使焊锡溶解,可分离电路板和元器件。红外加热法,利用红外线直接作用在工件上,能量利用的效率较高,脱焊效果较好;但是利用红外加热法时,焊锡附近的电子元器件也会吸收一些波长的红外线,对元器件造成一定程度的损伤。激光加热法,利用激光直接加热焊接部位,保证了脱焊的品质,但是激光设备过于昂贵,难于操作<sup>[14]</sup>。

根据以上分析,解焊技术方案朝着理想状态的具体进程为:人工动作和热的交互作用(融合了机械与热的交互作用)—有加热介质的热交互作用(热与分子的交互作用)—化学介质的交互作用—辐射和红外线、激光等电磁交互作用(红外线与激光加热的基础是传送电磁波)。因此,企业应从不损害元器件的加热方式、无害的加热介质、不破坏元器件结构的

分离方式等方面重点研究解焊技术。

步骤 4: 服务方案确定。基于服务方案的评估结果,根据服务集 $SC_{\text{加热}}(SK_{\text{物理}}, SK_{\text{化学}})$ 确定焊锡的加热方案,最终确定用液体介质加热法并以焊锡为介质进行加热;根据服务集 $SC_{\text{分离}}(SK_{\text{运动学}}, SK_{\text{效应}})$ 确定使元器件引脚从电路板上分离的方案,最终确定以超声波振动法将元器件和电路板分离。

研究表明<sup>[15-16]</sup>,该解焊技术方案拆卸率高,且不会对元器件造成损坏。

## 4 结 论

作者提出了制造与服务的融合模式,将服务型检核表法用于产品的可服务性设计,辅助设计者从不同的角度提出服务设想。以“决策”“设计”“制造”“运行维护”和“回收”为驱动模块,从需求分析、研发设计、生产制造、维护运行、回收再制造5个阶段研究服务型制造的信息集成,通过基于模块驱动的服务型制造信息集成模型建立了产品全生命周期中各阶段所需的信息资源的映射关系,这有助于企业对所需信息资源的追踪和运用,实现了不同阶段的服务策略。基于模块驱动的服务型制造信息集成方法是一种新的信息集成研究思路,但该方法还不完善,在业务流程、服务策略、知识资源的匹配,以及对服务组件的计算机转化等方面还需要深入的研究。

### 参考文献:

- [1] Gao J, Yao Y, Zhu V C Y, et al. Service-oriented manufacturing: A new product pattern and manufacturing paradigm[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2011, 22(3): 435-446.
- [2] Guo Gang, Yang Juan, Zhang Yi, et al. Design and analysis of the manufacturing resource service sharing model based on the service-oriented manufacturing paradigm[J]. Journal of Chongqing University, 2012, 35(9): 48-55. [郭刚, 杨娟, 张毅, 等. 服务型制造模式下资源服务共享模型设计与分析[J]. 重庆大学学报, 2012, 35(9): 48-55.]
- [3] Lee S, Han W, Park Y. Measuring the functional dynamics of product-service system: A system dynamics approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 2015(80): 159-170.
- [4] 朱春燕, 魏丁, 孙林岩. 服务型制造环境下的主动式产品创新理论及工具[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [5] Li Ji, Mo Rong, Sun Huibin. Optimization combination of service-based manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(9): 2099-2108. [李冀, 莫蓉, 孙惠斌. 服务型制造的服务合成优化方法[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(9): 2099-2108.]
- [6] Mun J, Shin M, Lee K, et al. Manufacturing enterprise collaboration based on a goal-oriented fuzzy trust evaluation model in a virtual enterprise[J]. Computers & Industrial Engin-



- ering,2009,56(3):888-901.
- [7] Li N, Jiang Z. Modeling and optimization of a product-service system with additional service capacity and impatient customers[J]. *Computers & Operations Research*, 2013, 40(8): 1923-1937.
- [8] Song W, Sakao T. Service conflict identification and resolution for design of product-service offerings[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2016, 98(1): 91-101.
- [9] Wang Mingwei, Zhang Shusheng, Zhou Jingtao. Framework of collaborative business processes in service-embedded manufacturing paradigms[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2010, 16(11): 2537-2543. [王明微, 张树生, 周竞涛. 面向服务型制造的协同业务流程构建框架[J]. *计算机集成制造系统*, 2010, 16(11): 2537-2543.]
- [10] Shen Jin, Wang Liya, Long Huijun, et al. Knowledge-based product service configuration in servitization[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2013, 19(10): 2633-2643. [沈瑾, 王丽亚, 隆惠君, 等. 服务型制造中基于知识的产品服务配置[J]. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(10): 2633-2643.]
- [11] Gu Xinjian, Li Xiao, Qi Guoning, et al. Theory and key technology of product service system[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2009, 43(12): 2237-2243. [顾新建, 李晓, 祁国宁, 等. 产品服务系统理论和关键技术探讨[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2009, 43(12): 2237-2243.]
- [12] Yang Kun, Li Wenqiang, Li Yan, et al. Product innovative design service cognitive composition model based on SOA[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2014, 20(10): 2329-2339. [杨琨, 李文强, 李彦, 等. 基于SOA的产品创新设计服务认知组合模型[J]. *计算机集成制造系统*, 2014, 20(10): 2329-2339.]
- [13] Huang K, Guo J, Xu Z. Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164(2/3): 399-408.
- [14] Chen Wang, Wu Zhao, Jie Wang, et al. An innovative approach to predict technology evolution for the desoldering of printed circuit boards: A perspective from China and America[J]. *Waste Management & Research*, 2016, 34(6): 491-501.
- [15] Song Shouxu, Liu Weiguo, Liu Guangfu, et al. Study of heating methods for disassembling components on PCBs based on TOPSIS[J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 2009, 32(7): 950-954. [宋守许, 刘伟国, 刘光复, 等. 基于TOPSIS法的电路板拆卸元器件加热方法评价[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2009, 32(7): 950-954.]
- [16] Yang Jiping, Xiang Dong, Gao Peng, et al. Disassembly technology and disassembly process of waste printed circuit boards: A state-of-the-art[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2009, 45(9): 126-135. [杨继平, 向东, 高鹏, 等. 印制电路板拆解技术与拆解工艺综述[J]. *机械工程学报*, 2009, 45(9): 126-135.]

(编辑 黄小川)

引用格式: Zhang Kai, Zhao Wu, Wang Jie, et al. Information integration method of product design for service-embedded manufacturing[J]. *Advanced Engineering Sciences*, 2018, 50(2): 204-211. [张凯, 赵武, 王杰, 等. 面向服务型制造的产品设计信息集成方法[J]. *工程科学与技术*, 2018, 50(2): 204-211.]