

基于本体映射的零件工艺实例重用方法研究^{*}

严 键, 陈友玲, 刘文科
(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400043)

摘 要: 针对目前计算机辅助工艺设计中基于实例的工艺相似性重用问题, 提出一种基于本体映射的零件工艺实例重用方法。在分析零件工艺实例信息的基础上, 建立了新零件工艺知识本体和零件库零件工艺实例本体。基于本体映射的方法, 通过本体间相似度计算, 完成新零件工艺实例的检索和重用, 并以轴类零件来说明该方法的有效性。

关键词: 工艺实例; 本体; 映射; 工艺重用

中图分类号: TP182; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0177-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.050

Research on approach of part process case reusing based on ontology mapping

YAN Jian, CHEN You-ling, LIU Wen-ke

(School of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400043, China)

Abstract: Aiming at case-based similarity reusing in computer aided process planning (CAPP), to resolve this problem, this paper proposed method of part process case reusing based on ontology mapping. Firstly, constructed a new part process ontology and part process case ontology of the library by analysis of the part case's information. Then, based on ontology mapping method, completed the retrieval and reusing of new part process case by calculating the similarity among concepts. Finally, presented an example of shaft parts to illustrate the effectiveness of this method.

Key words: process case; ontology; mapping; process reusing

0 引言

复杂零件的工艺设计涉及大量知识信息和决策, 是一项繁杂的智力活动, 通常由经验丰富的专家来完成。工艺知识的广泛性和复杂性导致工艺设计规则提取困难, 并且难以用精确的数学方式进行表达和运用^[1]。在零件设计阶段, 知识是最重要的财富, 对已有的知识进行重用是企业进行产品创新和保持竞争优势的动力。基于实例的推理(CBR)是人工智能中新崛起的一种重要推理技术。CBR技术是旨在利用过去的经验进行推理的新问题求解机制。它是符合现代专家迅速、准确地求解新问题的过程。

目前, 已有不少专家学者针对 CBR 的零件工艺问题进行了研究^[2~7]。一方面, 通过相似实例检索和评价优选来实现零件工艺实例的重用。文献[2]定义工艺重用的概念, 并提出了一种改进的文本聚类算法用于工艺知识的发现。文献[3]用面向对象与特征建模技术构建了制造工艺资源的特征模型, 提出利用工序特征参数相似性计算来检索匹配重用的工艺资源。文献[4]将邻域搜索技术、加权有向图技术和蠕虫智能聚类算法应用于多工艺优化决策过程中, 提出利用成本优选方法来实现 eMC 的制造工艺优化决策。这些零件工艺重用的方法都是

从研究零件的工艺特征相似性来实现相似零件工艺实例的检索, 缺乏对零件工艺信息的语义描述。另一方面, 有学者将本体论的方法应用到零件的重用中, 如文献[5]分析现有协同企业之间零件异构问题, 提出一种结构—语义—特性本体映射算法。但主要是从协同企业零件结构和特性方面来建立映射关系。文献[6]提出了开发零件库中基于本体的智能搜索引擎的研究内容, 设计了一种智能搜索引擎的系统架构, 和用以建立用户接口的六元智能查询模型及系统中的查询逻辑流程, 论述了六元智能查询模型与四层本体模型间的映射方法。文献[7]分析针对 CAPP 应用系统中零件信息的表达和组织问题的不足, 提出了基于本体的零件描述模型以及该模型的三层体系架构。但只是对零件的工艺信息进行描述, 解决了 CBR 中信息描述这个基本问题, 对于零件工艺实例的检索没有作研究。

综合上述对 CBR 的零件工艺问题的分析, 有必要将本体映射的方法应用到零件工艺实例重用中, 以解决零件工艺实例信息的语义表达和工艺实例检索的问题, 以及重用过程中的语义沟通问题。鉴于此, 本文提出一种基于本体映射的零件工艺实例重用的方法。本体作为新零件工艺与零件库实例零件工艺的知识映射和信息转换的媒介, 给出新零件加工工艺知识空间和零件库实例零件工艺知识的本体表达; 通过计算两个本体之间的相似度, 建立两个本体之间的映射关系, 从而提出零件

收稿日期: 2011-05-25; **修回日期:** 2011-06-30 **基金项目:** 重庆市自然科学基金计划项目(2009BB3362); 重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJ08A06); 重庆大学“211工程”三期创新人才培养计划建设项目(S-09107)

作者简介: 严键(1986-), 男, 四川阆中人, 硕士研究生, 主要研究方向为先进制造、生产运作管理(yanjian_513@yahoo.com.cn); 陈友玲(1964-), 女, 重庆人, 教授, 博士, 主要研究方向为生产计划与控制、生产系统建模仿真、知识管理等; 刘文科(1986-), 男, 湖南湘乡人, 硕士研究生, 主要研究方向为虚拟制造、生产运作管理。

工艺实例重用的方法。

1 基于本体映射零件工艺实例重用原理

在零件重用域中,新零件工艺知识与零件库实例零件工艺知识之间存在着映射关系,这两个领域之间存在共同的目标,即快速、高效地重用设计零件的工艺信息。但是两个领域是从不同角度来表达工艺知识,容易造成两个领域信息沟通的障碍,出现零件重用失效的现象。本体作为一种建模工具,能够将领域中的各种概念及相互关系形式化地表达出来,因而在语义和知识层面上描述系统的概念发挥着重要的作用,其核心思想是一个领域内知识的共享和重用。本文将建立新零件工艺本体和零件库中零件工艺本体,以解决新零件工艺知识和零件库零件工艺知识语义描述和两者之间的沟通障碍。在此基础上寻找两个本体间的映射规则,建立两个领域之间的本体映射,使得本体内的知识通过映射规则在本体之间进行传递,达到不同本体之间信息的互操作,以实现零件工艺信息的重用。

本体的目的是使信息成为机器可以理解的“语言”,因此在建立本体知识库时,需要用某种本体语言来表示和描述本体知识。大量的研究工作者活跃于该领域,出现了许多描述本体的语言。目前应用较多的本体表达语言主要有以下几种:简单 HTML 本体扩展 (simple HTML ontology extension, SHOE)、可扩展标记语言 (extensible markup language, XML)、本体标记语言 (ontology markup language, OML)、资源描述框架 (resource description framework, RDF) 及 Web 本体描述语言 (Web ontology language, OWL) 等。本文对零件实例库本体和新零件工艺本体进行知识描述时,采用 W3C (World Wide Web Consortium) 推荐的 本体描述语言标准 OWL。OWL 从语义层的角度对信息进行描述,运用了 XML 语法和 XML Schema 提供的对文档结构的描述功能,它集中了 XML 和 RDF 的优点,具有强大的语义描述能力^[8]。

零件工艺实例重用是一个逐步完善的过程,随着信息反馈机制的增加,设计者对零件的工艺进行合理的处理,使得重用结果趋于合理。将基于本体映射的方法用于零件工艺实例重用过程中,其基本流程如图 1 所示。

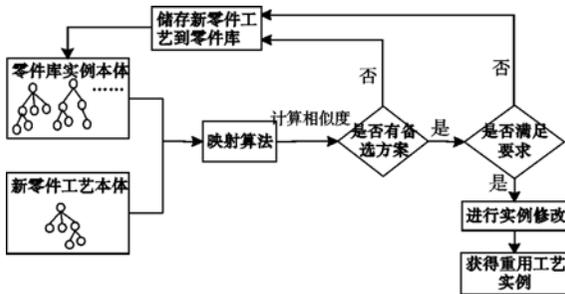


图 1 基于本体映射的零件工艺实例重用过程

a) 将已加工完成的零件的工艺信息统一用本体进行知识表达和描述,建立企业零件工艺实例知识库。

b) 根据新零件工艺要求,将新产品的工艺信息用本体进行知识描述。用本体映射方法对新零件工艺本体和零件库实例本体两个本体的相似度进行计算。

c) 如果从零件实例库中搜索到备选方案,则将从零件实例库中搜索到与新零件工艺要求相似度最高的实例本体作为备选工艺方案。在实际操作过程中可以将几个相似度高的几个实例本体作为备选方案。如果从零件实例库中没有搜索到

备选方案,就将新零件工艺本体储存在零件实例库中。

d) 在得到的备选工艺实例方案中,工艺设计人员根据设计要求是否满意,如果备选方案满足要求,则对备选方案进行备份修改,得到最终重用工艺实例;如果没有搜索到备选方案,那么设计人员将新零件工艺本体储存在零件实例库中。

2 零件工艺知识本体表达

2.1 零件工艺信息构成分析

机械产品中零件各式各样,但是在结构、加工过程、加工设备等方面还是存在一定的共性。由此,零件工艺实例信息可以分为两部分内容:一部分是描述零件组成及特征的信息;另一部分是描述零件加工及相关管理信息。具体来说,可分为以下三类信息:a) 描述零件基本特征的信息,包括零件名称、结构形状、材料类型、零件图等信息;b) 描述零件技术特征的信息,包括零件精度要求、定位基准分析、安装方案、工艺路线等信息;c) 描述零件加工过程设备信息,机械加工中所涉及的设备资源主要包括机床、夹具、刀具等信息。对零件工艺实例信息分析的目的为了方便建立零件工艺知识本体模型。

2.2 零件工艺知识本体表达

本体是用概念、概念的属性、概念之间的相互关系来形式化表达特定领域的知识。本文对零件工艺知识进行表达时将采用概念、概念属性、关系集、关系集属性和概念之间层次结构五个本体基元来建模。

定义 1 零件工艺本体是一个五元组 $O_{PC} = (C, A^C, R, R^C)$ 。其中: C 为零件工艺实例中的概念集, A^C 为概念 C 的属性集, R 为概念之间的关系集, R^C 为概念之间关系的属性集。

a) 概念集 C 的每个元素为要进行规范化描述的概念,也称之为类。其主要包括零件基本特征信息、零件工艺技术特征信息及零件加工过程设备等信息,并且每个概念下面都有若干子概念。

b) 概念属性集用来描述一个类的性质,是区别于其他类的特征。本文中概念属性集合 A^C 用一个二元 $A^C = (c, v)$ 来表达。其中: c 为一个本体概念, v 表示属性值。在零件技术特征信息中,零件精度属性取值可以 11 级加工精度、10 级加工精度、...、3 级加工精度等;如安装方案属性值的取值可以用卡盘夹、两头顶、一夹一顶、一夹一托、用 V 形块、用专用夹具等。

c) R 是本体中概念之间的关系集,主要是指零件工艺实例信息相互影响。 R^C 是关系属性集,关系属性可以用一个三元组来表示, $R^C = (c_1, c_2, r)$ 。其中: c_1, c_2 为零件工艺实例本体; r 表示关系。两个本体之间的关系主要有概念本体之间整体与局部关系 part-of, 概念本体之间继承关系 (也称之为父子关系) kind-of, 概念本体同类关系 (也称之为兄弟关系) same-as, 某个概念是另外一个概念的属性 attribute-of。例如整体与局部关系 part-of 在常用车床类中,又可以分为立式车床、卧式车床、端面车床。立式车床、卧式车床、立式机床、端面车床就是常用车床的局部类,反过来常用车床就是立式车床等的整体,它们之间就是整体与局部关系。同类关系又称兄弟关系,如立式车床、卧式车床等,它们之间就是同类关系。

根据以上对零件工艺实例本体的定义,建立企业已加工完成零件的工艺实例本体,然后把把这些本体集成起来建立零件工

艺实例知识库本体。

3 基于本体映射的零件工艺实例重用方法

定义 2 设 O_{PC} 为新零件工艺本体, O_{NC} 为零件库工艺实例本体, $O_{NC} = \{O_{NC1}, O_{NC2}, \dots, O_{NCn}, O_{NCn}\}$, O_{NCi} 表示零件库实例中某个工艺实例本体。把零件本体映射方法作用于两个本体 O_{PC} 和 O_{NC} , 得到零件工艺实例本体映射的数学表达形式如下:

$$\text{Map}(O_{PC}, O_{NC}) = \text{Opf}\{\text{Map}(O_{PC}, O_{NCi})\} = f \quad (1)$$

两个本体之间映射关系存在六种类型, 包括 1:1, 1:n, n:1, null:1, 1:null 和 n:m。本文研究是新零件工艺本体对零件库工艺实例本体映射关系, 主要为 1:1 和 1:n 两种映射类型。

零件工艺实例重用本体映射的关键就是通过在向量空间计算相似度来发现本体相似概念。本文使用将概念的名称相似度和结构相似度相结合的算法对相似度进行综合评估。概念名称相似度的计算主要是从概念本身语义特点来比较概念的相似性; 概念结构相似度的计算主要是从整个本体概念层级来比较相似性。设 C_{PCi} 和 C_{NCj} 分别是新零件工艺本体的概念和零件库工艺实例本体概念, C_{PCi} 和 C_{NCj} 的名称相似度为 $\text{Sim}_{CN}(C_{PCi}, C_{NCj})$, C_{PCi} 和 C_{NCj} 的结构相似度为 $\text{Sim}_{CH}(C_{PCi}, C_{NCj})$ 。

3.1 名称相似度的计算

名称相似度是新零件工艺本体中各个工艺内容与零件库工艺本体中各个零件工艺内容之间的相似关系。在这里, 利用通用语义词典 wordnet 将词汇组织成连通集合的特点, 通过计算两个本体概念在 wordnet 中公有同义词和共用同义词之间的比例计算出两个本体的语义相似度^[9], 计算公式如下:

$$\text{Sim}_{CN-w}(C_{PCi}, C_{NCj}) = \begin{cases} 1 & \text{if } C_{PCi} \text{ 和 } C_{NCj} \text{ 为同义词} \\ \frac{|\text{synonym}(C_{PCi}) \cap \text{synonym}(C_{NCj})|}{|\text{synonym}(C_{PCi}) \cup \text{synonym}(C_{NCj})|} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

其中: $\text{Sim}_{CN-w}(C_{PCi}, C_{NCj})$ 为两个语义相似度, $|\text{synonym}(C_{PCi})|$ 为 C_{PCi} 在 wordnet 中具有同义词个数, $|\text{synonym}(C_{NCj})|$ 为 C_{NCj} 的同义词个数。

计算两个本体概念字符相似度根据字符匹配的方法, 本文选择利用 Levenshtein 于 1965 年提出的编辑距离 (edit distance) 来比较两个本体字符的相似性, 计算公式如下:

$$\text{Sim}_{CN-s}(C_{PCi}, C_{NCj}) = \max\left(0, 1 - \frac{ED(\text{length}(C_{PCi}), \text{length}(C_{NCj}))}{\min(\text{length}(C_{PCi}), \text{length}(C_{NCj}))}\right) \quad (3)$$

其中: $\text{Sim}_{CN-s}(C_{PCi}, C_{NCj})$ 表示两个字符的相似度; $\text{length}(C_{PCi})$ 表示 C_{PCi} 的字符串长度; $\text{length}(C_{NCj})$ 表示 C_{NCj} 的字符串长度; $ED(\text{length}(C_{PCi}), \text{length}(C_{NCj}))$ 表示编辑距离。

式(4)两个本体名称相似度由两个本体的语义相似度和字符相似度最大者来决定, 则两个本体概念名称相似度表示为

$$\text{Sim}_{CN}(C_{PCi}, C_{NCj}) = \max(\text{Sim}_{CN-w}(C_{PCi}, C_{NCj}), \text{Sim}_{CN-s}(C_{PCi}, C_{NCj})) \quad (4)$$

3.2 结构相似度的计算

本体的概念是具有层次结构的, 可以把本体表示为一个具有层次的树状结构, 树中每一个节点代表本体的一个概念。对新零件工艺实例本体和零件库工艺实例本体而言, 分别可以看成新零件工艺实例本体树和零件库工艺实例本体树, 每个节点就表示工艺内容具体信息。本体树的树干和分支关系、分支与

分支关系可以分别看成本体的父子关系、兄弟关系。则本体结构相似度计算公式为

$$\text{Sim}_{CH}(C_{PCi}, C_{NCj}) = \begin{cases} \alpha \text{Sim}_{set}^F(C_{PCi}, C_{NCj}) + \beta \text{Sim}_{set}^B(C_{PCi}, C_{NCj}) + \gamma \text{Sim}_{set}^S(C_{PCi}, C_{NCj}) \\ \alpha + \beta + \gamma = 1 \\ \alpha \geq \beta \geq \gamma > 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, $\text{Sim}_{CH}(C_{PCi}, C_{NCj})$ 表示两个本体结构相似度, $\text{Sim}_{set}^F(C_{PCi}, C_{NCj})$ 表示概念 C_{PCi} 、 C_{NCj} 父概念集相似度, $\text{Sim}_{set}^B(C_{PCi}, C_{NCj})$ 为两个概念兄弟概念集相似度, $\text{Sim}_{set}^S(C_{PCi}, C_{NCj})$ 为两个概念子概念集相似度。在树状结构层次中父子关系、兄弟关系对相似度影响程度不同, 因此父概念集相似度所占权重最大, 其次是兄弟关系相似度, 最后是子概念集, 在赋权重的时候 $\alpha \geq \beta \geq \gamma > 0$ 。

3.3 零件工艺实例重用方法

新零件工艺实例本体和零件库实例本体综合相似度是对名称相似度和结构相似度两个相似度的集成。按照式(6)可以计算出两个本体的概念相似度, 并表示为

$$\text{Sim}(C_{PCi}, C_{NCj}) = \theta_1 \text{Sim}_{CN}(C_{PCi}, C_{NCj}) + \theta_2 \text{Sim}_{CH}(C_{PCi}, C_{NCj}) \quad (6)$$

其中: $\theta_1 + \theta_2 = 1$, 权值由设计人员根据重用对象和重用环境具体来决定。

零件的工艺信息由零件基本特征、零件技术特征和零件加工设备信息三部分组成。分别对新零件工艺本体三部分概念与零件库中实例零件工艺本体概念的相似度进行计算, 通过对两个本体的相似度计算, 可以在零件实例库中搜索到与新零件工艺信息相似的工艺实例信息, 选取相似度最大的工艺实例作为备选方案。工艺设计人员根据设计要求判断搜索到的工艺实例是否满足设计要求。如果备选方案满足设计要求, 则工艺人员对该工艺实例进行修改, 得到最终重用工艺实例; 如果没有搜索到备选方案, 那么设计人员将新零件工艺本体储存在零件实例库中。

4 应用实例

为了验证本文所提出关于零件工艺实例重用方法的有效性, 下面以轴类零件来说明。图 2 为当前新零件 P。

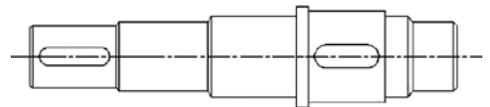


图2 当前零件

对轴类零件来说, 新零件工艺需求域中工艺知识与零件库中零件工艺实例知识之间存在着映射关系。为了实现新零件工艺知识到零件库中零件工艺实例知识的转换, 重用出满意的零件工艺, 首先对零件的重用知识进行本体表达。

由定义 1 可知, 零件工艺实例本体是由概念、概念属性、概念之间关系和概念关系属性组成的。通过分析当前零件的结构, 可以得出当前零件 P 的工艺要求主要由零件基本特征、零件技术特征和零件加工设备信息三大部分组成, 其本体结构如图 3 所示。与概念相对应的属性由材料类型、结构形状、精度要求、基准要求、机床、刀具等。零件工艺信息与概念之间存在 Has-part 关系。概念与属性之间存在 Has-attr 关系。

当前零件 P 是一个加工材料为 45 号钢动力输出轴, 有两个键槽, 需要进行调质处理; 该动力输出轴的精度要求为 7 级

精度和 1.6 的表面粗糙度。其工艺要求限于以下几个概念属性:零件名称、材料要求、精度要求、工艺路线、工装选择和零件加工设备。

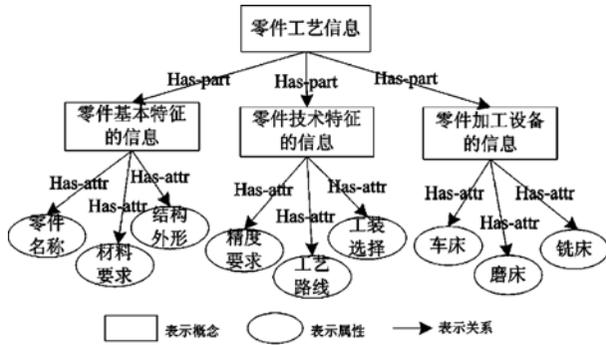


图3 零件工艺信息本体结构

在重用之前,工艺信息本体的概念、子概念、属性等元素需要进行预处理。预处理主要是包括分词、停用词删除、词干抽取和归一化处理等。工艺信息本体进行预处理可以提高概念相似度计算的精度。首先对零件基本特征的信息本体相似度进行计算,实现了零件基本特征的信息与零件库中实例零件基本特征的信息映射,在零件库中确定了材料为 45 号钢的动力输出轴系列为相似实例;然后计算零件技术特征的信息本体相似度,在动力输出轴系列中搜索到 8 级精度和 1.6 的表面粗糙度较为相似,达到工艺要求的精度要求的工艺路线(下料—热处理—车—半精车—磨—铣)相似度高,满足该工艺路线,所以需要的工装相似度也较高;最后进行零件加工设备信息的本体相似度计算,确定动力输出轴的加工设备为 CA6140、M1432A、X5030 三种机床。通过对零件工艺三部分信息本体的计算,在零件库中搜索出一个相似度很高的实例零件如图 4 所示。工艺人员调出该实例零件的机械加工工艺,根据经验并结合生产加工的实际要求,对该实例工艺进行局部修改即可得到新零件的机械加工工艺。

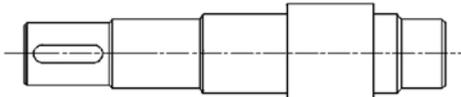


图4 实例零件

(上接第 176 页)

4 结束语

通过对设计进行 MATLAB 平台的仿真和 Quartus II 平台的板级调试,并对所得结果进行对比分析,验证了文中提出的设计实现方法在极大地降低了硬件资源的基础上,可以快速、高效地实现 CMMB 标准中的 OFDM 调制,所有模块均在标准要求的指标下通过功能仿真、时序分析以及板级调试。该方法对 CMMB 系统的 OFDM 调制设计与实现具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 杨庆华,陶涛,葛启宏,等. GY/T 220.1—2006 移动多媒体广播第 1 部分:广播信道帧结构、信道编码和调制[S]. 北京:国家广播电视总局,2006.

[2] 程佩青. 数字信号处理[M]. 3 版. 北京:清华大学出版社,2009:

5 结束语

描述和检索是实现 CBR 工艺设计重用的内容。本文提出的基于本体映射的工艺实例重用方法,通过计算新零件工艺和零件库实例零件工艺概念相似度,使得检索的实例工艺与当前待加工的零件匹配度高,充分发挥了基于实例的检索系统的作用,有效地解决了实例重用过程中的各种问题,为实现基于 CBR 高效的工艺设计奠定了基础。

参考文献:

[1] 段建国,李爱平,徐立云,等. 箱体类零件变批量生产的分层工艺实例检索策略[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(8):1614-1621.

[2] 高伟,殷国富,戈鹏. 基于知识发现原理的制造工艺重用方法研究[J]. 中国机械工程,2003,19(10):1167-1170.

[3] 李双跃,龙红能,殷国富,等. 基于特征的制造工艺资源建模与检索方法研究[J]. 计算机集成制造系统,2007,13(6):1061-1065.

[4] 赵刚,江平宇. 面向大规模定制的 e-制造工艺优化决策方法研究[J]. 中国机械工程,2007,9(5):1056-1059.

[5] 张太华,顾新建,刘海强,等. 企业协同中的零件本体映射[J]. 浙江大学学报:工学版,2009,43(12):2287-2292.

[6] 郭剑锋,顾新建,祁国宁,等. 零件库中基于本体的智能搜索引擎的研究与实现[J]. 浙江大学学报:工学版,2007,41(4):639-645.

[7] 李文杰,冯志勇,赵德新. 基于本体的零件描述模型研究[J]. 计算机工程,2007,33(8):250-252.

[8] 但斌,姚玲,经有国,等. 基于本体映射面向模糊客户需求的产品配置研究[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(2):225-232.

[9] 肖文芳. 基于相似度计算的本体映射研究与实现[D]. 长沙:中南大学,2007.

[10] 王宗江. 异构本体映射关键技术研究[D]. 上海:上海交通大学,2009.

[11] 刘紫玉,黄磊. 基于领域本体模型的概念语义相似度计算研究[J]. 铁道学报,2011,33(1):52-57.

[12] 朱文博,李爱平,刘雪梅. 基于本体的冲压工艺知识表示方法研究[J]. 中国机械工程,2006,17(6):616-620.

143-176.

[3] 陶金. OFDM 调制中的高效 FFT 处理器的设计与 FPGA 实现[D]. 上海:上海交通大学,2006.

[4] BOUGUEZEL S, AHMAD M O, SWAMY M N S. A new radix-2/8 FFT algorithm for length-q × 2m DFTs[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems, 2004, 51(9):1723-1732.

[5] TAKAHASHI D. An extended split-radix FFT algorithm[J]. IEEE Signal Processing Lett, 2001, 8(5):145-147.

[6] MERLYN M. FPGA implementation of FFT processor with OFDM transceiver[C]//Proc of 2010 International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP). [S. l.]: IEEE Computer Society, 2010: 483-489.

[7] LI S, XIAO H, CHEN Y. A low-power 4K point FFT processor for CMMB OFDM receiver system [C]//Proc of the 8th IEEE International Conference on ASIC. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2009: 517-520.