

# 机械产品专利作用结构知识提取方法研究\*

薛 驰 邱清盈 冯培恩 邓 坤

(浙江大学计算机辅助设计与图形学国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘要:** 机械产品专利包含了产品改进和创新的技术知识,对专利知识有效提取和合理表示是利用专利知识辅助产品创新的关键技术之一。分析了现有专利技术方案提取方法和知识表示所存在的问题,提出了针对英文专利包括技术对象和技术关系两方面提取任务的专利作用结构知识提取方法,建立了基于可扩展标记语言结构 XSD 表示和统一建模语言 UML 的专利作用结构知识表示模型。研究了机械产品专利语言的特点,采用最大熵原理和专利技术词典识别提取技术对象,通过建立组成类动词库识别核心动词提取技术关系。该专利作用结构知识表示模型具有表达直观和提取过程计算机自动处理等特点。结合专利实例,提出了从专利中提取专利作用结构知识,写入 XSD 结构化文档,最后转化为专利作用结构表示图的获取过程。

**关键词:** 专利 作用结构 知识提取 知识表示 UML XSD

**中图分类号:** G306.0; TP182 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)01-0222-08

## Acquisition Method for Principle Solution of Mechanical Patent

Xue Chi Qiu Qingying Feng Peien Deng Kun

(State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** The problems of the existed acquisition method and representation method for patent technical solution were discussed. A new knowledge acquisition method for mechanical patent's principle solution including the acquisition task of technical object and technical relationship was proposed. Based on extensible markup language schema definition (XSD) and unified modeling language (UML), the representation model of patent technical solution was built up. According to the characteristics of mechanical patent's text, technical object with the method of maximum entropy principle and patent term dictionary was acquired. The composition verb database was established and technical relationship was acquired. This method has some advantages such as the intuitionistic representation of the patent knowledge and the feature that the knowledge was automatically processed by computer. A whole process involved the steps like acquiring the principle knowledge from patent documents, writing the knowledge into XSD and transforming XSD to the representation model was illustrated with a US patent in detail. The model and process laid the foundation for the efficient utilization of patent knowledge.

**Key words:** Patents Working structure Knowledge acquisition Knowledge representation UML XSD

### 引言

专利中所描述的技术创新信息对产品改进和创新具有重要的参考和启发价值。面对海量专利文

献,如何对专利知识进行表示是充分利用专利知识支持产品创新设计的关键技术问题之一。

对于普通文本的知识表示, Sowa<sup>[1]</sup>提出的概念图(Conceptual graphs, CG)模型因具有可视化描述

收稿日期: 2012-01-09 修回日期: 2012-02-22

\* 国家自然科学基金资助项目(51075356)和中央高校基本科研业务费专项资助项目(2011QNA4003)

作者简介: 薛驰, 博士生, 主要从事专利知识挖掘和创新设计研究, E-mail: stanley.xue@gmail.com

通讯作者: 邱清盈, 副教授, 主要从事创新设计和优化设计研究, E-mail: medesign@zju.edu.cn

和易于理解等特点成为主要的知识表示模型之一，这方面的相关研究已有很多<sup>[2-4]</sup>。现有的知识表示模型的表示对象相对简单，若应用于较复杂的专利知识提取并不能准确全面反映其结构和运动原理。目前针对机械产品专利知识表示模型的研究还很少，文献[5]提出了机械产品专利技术方案概念模型(PSCM)，用于表示专利产品的技术组件及其技术关系。但是在实际应用中该模型存在知识表示重复以及难以采用计算机自动处理的问题。

本文以计算机自动化处理为目标，借鉴 PS 模型对 CG 模型的改进方法，通过分析机械产品专利知识的特点，提出一种针对英文专利知识表示模型，并最终提出针对英文专利作用结构知识的提取方法和过程。

### 1 专利作用结构知识表示模型

专利法要求专利文献必须直接描述产品结构和功能原理，根据 Paul 和 Beitz 设计学理论中的定义<sup>[6]</sup>，产品结构即组合结构，功能原理即作用原理。在文中将专利的组合结构和作用原理合称为专利作用结构，其知识称为作用结构知识(Working structure knowledge, WSK)。

#### 1.1 PSCM 存在的问题

文献[5]提出的 PSCM 如图 1 所示，是对包括零部件作用几何、材料和作用运动等信息的技术方案的抽取。采用该模型表示专利知识主要存在如下问题：

(1) 从建立模型的难易程度来讲，在技术组件提取方法中，PSCM 中采用的非确定有限状态自动机(NFSA)识别技术主要通过搜集大量的技术组件词性标记实例并通过人工归纳出技术组件词性规则建立对应的 NFSA。同时由于专利中通常包含较长的名词短语，NFSA 构建的技术组件规则库很难完整地覆盖所有的情况。在技术关系提取方法中，对

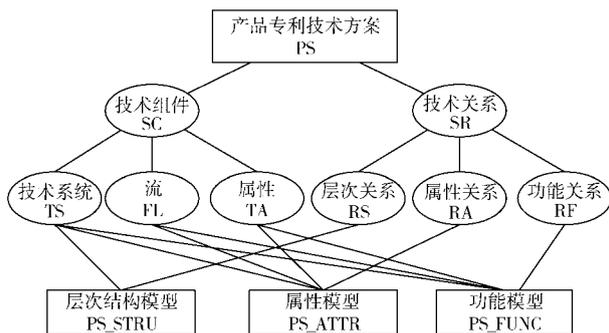


图 1 产品专利技术方案概念模型

Fig. 1 Patent structure conceptual model

动词进行了较复杂的分类，需要人工建立动词分类库和语义框架模型。

(2) 从知识表示的准确性来讲，由于专利常常采用不同的语言表达方式来表述相同的知识，在 PSCM 中仅仅通过对动词的识别来区分技术关系而忽略了一定格式的动词短语，从而导致了包含相同知识文本的重复表示。例如，专利 US7044234<sup>[7]</sup>的文本“*This apparatus has a rotatable device and a power device*”和“*A rotatable device and a power device are included in this apparatus*”，在 PSCM 中，前者是“主体-客体”关系，后者是组成关系，会采用两类子模型进行知识表示。

(3) 从知识表示的自动化效率来讲，PSCM 未详细展示自动化分析处理的过程和界面，仅是从理论上阐述了产品专利技术方案信息的抽取方法。虽然提到了作用结构知识可视化表示的可能性，但是并未提出自动可视化表示方法。

#### 1.2 专利作用结构知识表示

针对以上问题，结合对机械产品专利作用结构的分析，首先将作用结构知识分为技术对象(Technical object, TO)和技术关系(Technical relationship, TR)，如图 2 所示，技术对象是系统和组件及其附属的属性和流，可表示为

$$TO = (Name, Core, Attribute, Flow)$$

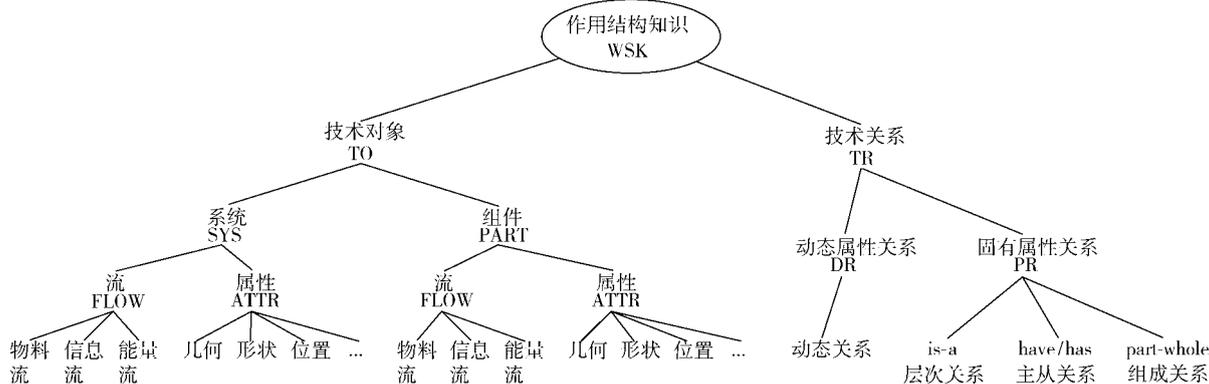


图 2 专利作用结构知识表示层次

Fig. 2 Representation level of WSK

其中 Name 是系统或组件的名称, Core 是系统或组件的核心词, Attribute 是系统或组件的属性, 描述结构的大小、形状和位置等特征, Flow 是流, 分为物料流、信息流和能量流, 描述系统中物料、信息和能量的变化。表 1 列举了机械领域技术对象及其属性和流的分类。

表 1 机械专利技术对象属性和流的分类

Tab.1 Classification of attribute and flow of TO in mechanical patent

技术对象	第 1 层	第 2 层	示例
流	物料流	dirt(粉尘), gas(气体), oil(油), ...	
	信息流	pulse(脉冲), electric signal(电信号), ...	
	能量流	magnetic force(磁力), pressure(压力), electric energy(电能), ...	
系统/组件	几何	length(长), foot(英尺), inch(英寸), ...	
	材料	metal(金属), steel(钢), bronze(铜), ...	
	位置	front(前面的), glancing(倾斜的), middle(中间的), ...	
	形状	round(圆形的), square(方形的), triangular(三角形), ...	
	数量	1, 5%, 2.3, ...	
	颜色	red(红色), green(绿色), yellow(黄色), ...	
	状态	liquid(液态), solid(固态), air(气态), ...	
方向	rearward(向后), forward(向前), outward(向外), ...		

技术关系是系统与组件以及组件与组件之间的关系, 可表示为

$$TR = (\text{Name}, \text{Core}, \text{Relationclass}, \text{Relationship})$$

其中 Relationclass 是技术对象之间的关系, 分为固有属性关系 (PR) 和动态属性关系 (DR), Relationship 是系统和组件在数量上的对应关系, 分为一对一和一对多, 分别以“1”和“unbounded”表示。

技术关系中, PR 表征的是系统组件之间固定或继承的内在联系, 描述产品专利组合结构中的关系。PR 包括“is-a”层次关系、“have/has”主从关系和“part-whole”组成关系。其中, “is-a”层次关系表示类别关系, “have/has”主从关系表示从属或包含关系, “part-whole”组成关系表示总体的组成关系。DR 表示组件间动态或者暂时的关系, 描述产品专利作用原理中的关系。

## 2 专利作用结构知识提取方法

机械产品专利中, 标题表述产品的名称, 摘要对产品结构做概述性的描述, 权利要求对产品所需要法律保护的结构进行详细的描述, 说明书中背景描述已有产品的不足, 说明书中的实施方案是对产品

作用原理的详细描述。专利作用结构知识包括产品组合结构和作用原理, 因此需要以专利权利要求和说明书中的实施方案作为信息源, 权利要求和实施方案中的每个句子分别是对 TO 和 TR 的语言描述。机械产品专利作用结构知识的提取是从专利的权利要求和实施方案中提取产品结构知识和作用原理知识。

### 2.1 TO 提取方法

TO 提取的目标是专利中特定的名词短语、副词短语和介词短语。其方法是采用最大熵原理<sup>[8]</sup>进行句法分析, 通过机械产品专业术语词典识别系统和组件及其附属的流和属性。

TO 采用短语中最基本的词汇进行描述, 即单词或短语的中心词。针对机械产品英文专利, 其短语通常具有较复杂的表现形式, 通过规则识别短语很难准确地实现。最大熵原理主要思想是, 在只掌握关于未知分布的部分知识时, 应该选取符合这些知识但熵值最大的概率分布。采用最大熵原理的专利文本句法分析就是在已知的专利句法分布中找到使该专利文本的条件熵最大的分布, 可形式化地表示为

$$p^*(y|x) =$$

$$\arg \max_{p(y|x) \in \theta} \left\{ - \sum_{x,y} (\tilde{p}(x)p(y|x)) \lg(\tilde{p}(x)p(y|x)) \right\}$$

其中  $x$  为专利上下文,  $y$  为当前位置单词词性标记,  $\tilde{p}(x)$  为  $x$  的已知句法分布,  $\theta$  为已知的专利句法分布。

针对机械产品英文专利, 通过训练预先标记的训练语料确定短语识别器, 最后采用短语识别器进行句法分析。传统的基于规则的句法分析方法预设句法分析规则但并不能完全覆盖所有的分析情况, 如基于 PennTreebank 词性标记的词法分析<sup>[5]</sup>。相对于传统方法, 基于最大熵原理的熵值分割短语更能准确实现句法分析。

TO 中系统和组件的提取关键在于中心词的识别。根据自然语言规则, 名词短语中中心词通常是最后一个名词。如“a hysteresis clutch”中“a hysteresis”为修饰短语, 因此可以提取得到中心词“clutch”。由于机械领域专利词汇的特殊性, TO 中流的表现形式较为单一, 通常为“force”和“pressure”等。TO 中属性的形状、材料、数量、颜色、位置、状态和几何多为形容词或数词, 这类属性通常存在于带修饰词的名词短语中, 部分位置属性也可能存在于名词短语之前的介词短语中, 而方向通常为名词短语之后的副词短语。因此归纳表 1 中的示例, 建立基于机械产品专利的属性与流专业术语词

典。

## 2.2 TR 提取方法

TR 提取是专利中语言结构向表示模型的映射。TR 提取的目标是专利中的动词或动词短语以及动词前后名词短语之间的联系。以机械产品专利中组成类动词库为基础,通过对关键动词或动词模式的识别进行 TR 提取。

针对机械领域产品专利的语义特点,可以将动词分为组成类动词和动作类动词(或非组成类动词),如图 3 所示。根据动词分类不同,TR 有不同的表现形式,如表 2 所示。由于 PR 中的组成类动词通常较为单一且词汇量有限,通过建立组成类动词分类库,即可采用组成类动词和非组成类动词为识别核心进行 TR 提取,方法如下:

(1) “is-a”层次关系通过动词模式“is a”进行关系识别,“is”后面的宾语表示父层,主语表示子层。“have/has”主从关系通过主从型动词进行关系识别,如“have”、“include”和“contain”等,若主从型动词为主动语态,则“have/has”的主语表示主体部分,宾语表示从属部分;若是被动语态,则相反。“part-whole”组成关系通过组成型动词进行关系识别,如“comprise”、“consist”和“compose”等。在组成关系中,通常为 1 对多的关系,单个总体对应多个组成体。

(2) DR 以非组成类动词为识别核心。通过对

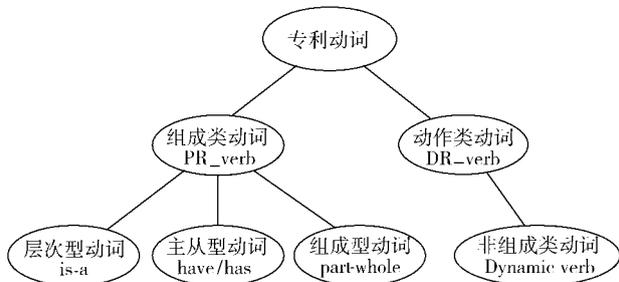


图 3 专利动词分类

Fig. 3 Classification of patent verb

表 2 技术关系分类和基本形式

Tab. 2 Classification and basic forms of TR

技术关系	基本形式
“is-a”层次关系	A is a kind of B, A is a sort of B, A is a type of B, A is an element of B, ...
	A has B, A includes B, A contains B, ...
	A is composed by B, A is formed by B, A is consisted of B, A comprised B, ...
固有属性关系(PR)	B is cut by A, B has been shocked by A, A carries B, A has combined B, ...
“part-whole”组成关系	
动态属性关系(DR)	

动词语态的判断确定动词前后名词短语的主客体关系,如主客体数量上的关系,如 1 对 1 和 1 对多,从而进行 DR 提取。

## 2.3 专利作用结构知识表示

可扩展标记语言 XML (Extensible markup language),是当前处理结构化文档信息的主要工具之一。XSD(XML schema definition)是描述 XML 文档的结构,具有可扩展、支持命名空间等优点。因此,采用 XSD 结构化地表示提取的作用结构知识可以提高专利知识存取自动化处理的效率。如图 4 所示,STRU\_XSD 表示产品专利的组合结构知识,包含了系统或组件、流、属性和固有属性关系等,可表示为:  $STRU\_XSD = (Core, Flow, Attribute, PR, Relationship)$ ; PRIN\_XSD 表示作用原理知识,包含了系统或组件、流、属性和动态属性关系,可表示为:  $PRIN\_XSD = (Core, Flow, Attribute, DR)$ 。

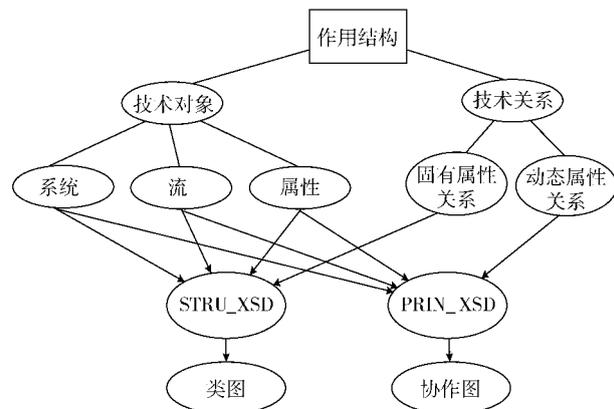


图 4 专利作用结构知识表示图

Fig. 4 Representation graph of WSK

通过定义 XSD 的命名空间,STRU\_XSD 和 PRIN\_XSD 可以结构化地表示为如图 5a 和图 5b 所示内容。图 5a 中,Core1 为系统 TO 的参数 Core, Core2 为组件 TO 的参数 Core, Attribute 和 Flow 为系统 TO 的参数, Relationship 为 TR 的参数, Relationclass 为 TR 参数 Relationclass 中的 PR,以组成类动词表示。图 5b 中,Core1 为主体 TO 的参数 Core, Core2 为客体 TO 的参数 Core, Attribute 和 Flow 为主体 TO 的参数, Relationclass 为 TR 参数 Relationclass 中的 DR,以动作类动词表示。

作用结构知识不仅需要结构化的表示以便于存储和后续处理,同样需要可视化表示以便于设计者快速地理解产品专利的作用结构。为了有利于自动可视化处理,采用统一建模语言 UML (Unified modeling language) 对专利作用结构知识表示模型进行建模,建立 XSD 表示结构和 UML 表示模型的映射关系。UML 提供了多种类型的模型描述图 (Diagram),在专利知识表示图中将主要用到 UML

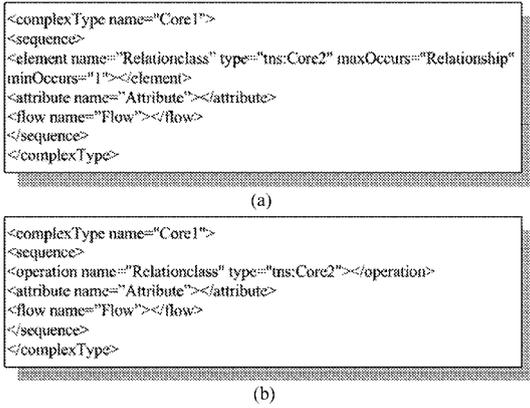


图5 XSD表示结构

Fig. 5 Representation structure of XSD

(a) STRU\_XSD结构 (b) PRIN\_XSD结构

的类图和协作图。

UML类图的类是不同类型的数据和属性的集合。其中,类图中的类名称对应于 STRU\_XSD 中的 Core1 和 Core2,类图中的属性对应于 STRU\_XSD 中的 Attribute 和 Flow,类图中的关系对应于 STRU\_XSD 中的 PR。UML类图定义类的关系包括泛化、关联和聚合等,分别表示技术对象之间的固有属性关系。其中,泛化是类之间继承关系,表示 PR 中“is-a”的层次关系;关联描述的是类之间存在固定的对应关系,表示 PR 中“have/has”主从关系;聚合是一种较强的关联关系,强调的是整体与部分之间的关系,表示 PR 中“part-whole”组成关系。

UML协作图表示一系列对象和在这些对象之间的活动交互,其中对象对应于 PRIN\_XSD 中的 Core1 和 Core2,活动交互描述的是零部件之间的非固有属性关系,对应于 PRIN\_XSD 中 DR。

可见,采用 UML 的类图和协作图可以对表示专利作用结构知识的 XSD 结构进行可视化表示,因此将这两类 UML 图合称为专利作用结构知识表示图。hyperModel<sup>[9]</sup>是一款用于 XSD 表示结构与 UML 图相互转换和编辑的开放软件。利用其转换功能,将储存专利作用结构知识的 XSD 表示结构转换为 UML 图。基于 Java 平台的 Eclipse workbench,使得 hyperModel 具有较强的可扩展性和移植性。因此采用 hyperModel 将 XSD 结构化表示的作用结构知识自动转换为 UML 可视化表示的专利作用结构知识表示图。

2.4 专利作用结构知识表示模型与 PSCM 对比

专利作用结构知识表示模型 (PSRM) 包括专利作用结构知识 XSD 表示结构和 UML 图。通过对比图 1 和图 4 发现,针对 PSCM 的问题,PSRM 完整地表示了产品专利的组合结构和作用原理。该模型的提取方法、XSD 表示结构和 UML 自动可视化处理改

善了对专利知识的表示。如 1.1 节中示例:“This apparatus has a rotatable device and a power device”和“A rotatable device and a power device are included in this apparatus”,在 PSCM 中产生了重复表示,而在 PSRM 中,基于动词模式识别规则将文本知识统一表示为主从属性关系。因此相对于 PSCM,PSRM 对专利知识表示有了较大改善。PSRM 与 PSCM 相关特性对比如表 3 所示。

表 3 PSRM 与 PSCM 相关特性对比  
Tab. 3 Contrast between PSRM and PSCM

对比项	PSCM	PSRM
表示识别的动词	按分类表手工分类的动词	计算机分类的组成类动词和非组成类动词
表示的内容	自定义的技术方案	包含组合结构和作用原理的作用结构
表示的形式	框架语义结构	XSD 框架结构
表示图的形式	传统概念图	UML 图
表示图生成方式	半自动整理生成	计算机自动生成
表示的精度	可能重复表示	无歧义

3 专利作用结构知识提取过程

专利作用结构知识提取过程是从专利文本语言到作用结构知识表示模型的映射过程,包括自然语言处理和作用结构知识提取两个主要模块,如图 6 所示。专利作用结构知识提取的对象是美国国家专利局检索下载的 HTML 格式的专利文本,转换为 XML 格式存入专利文本库中。下面结合实例说明关键技术的实现方法。

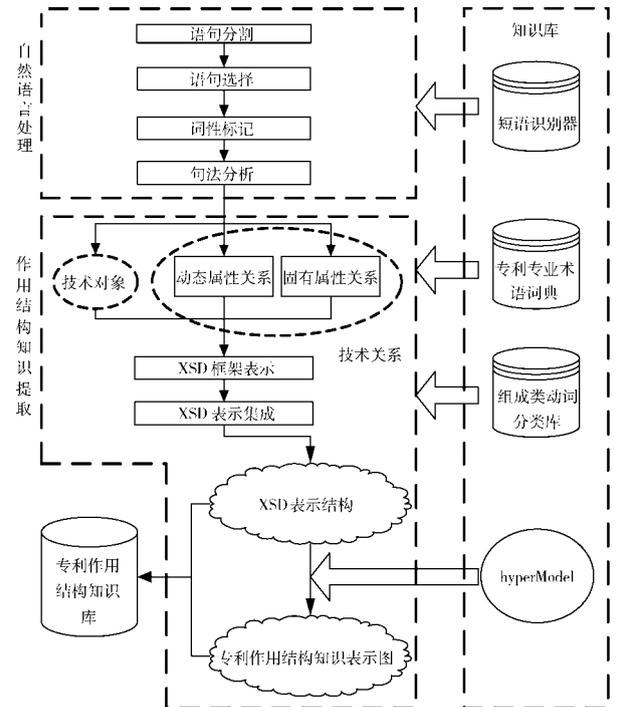


图 6 专利作用结构知识提取框架

Fig. 6 Acquisition framework of WSK

### 3.1 自然语言处理

机械产品专利自然语言处理是一个对文本以单词为单元进行分割,采用 WordNet<sup>[10]</sup> 作为词性字典对每个单词进行词性标记,最后通过最大熵原理对文本进行句法分析的过程。例如图 7a 中专利 US7449807<sup>[11]</sup> 的原始实施方案文本片段,通过自然语言处理得到结果如图 7b,其中“/”为词性标记号,CD、DT 和 NN 等为词性标记,“[”和“]”为短语标记号,NP、VP 和 PP 等为短语标记。

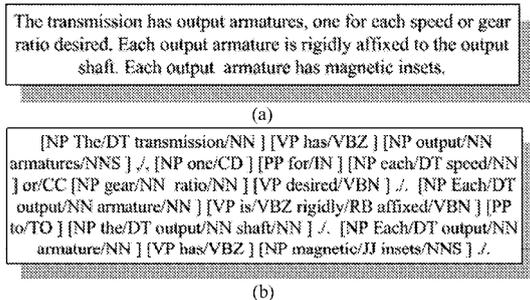


图 7 专利摘要文本片段句法分析

Fig. 7 Syntactic analysis of patent abstract text

(a) 原始摘要文本片段 (b) 摘要文本片段句法分析结果

### 3.2 专利作用结构知识提取

专利作用结构知识的提取过程包括技术对象和技术关系提取、XSD 结构化表示和 UML 可视化表示。

技术对象提取方法主要针对专利文本中的权利申明和实施方案进行提取,其步骤如下:

(1) 输入自然语言处理后的专利文本。

(2) 从文本中提取单句,并从单句中提取“ADVP”标记的副词短语、“PP”标记的介词短语和“NP”标记的名词短语,将名词短语存入 TO 的参数 Name 中。

(3) 采用机械产品专利专业术语词典提取名词短语中的核心词,存入 TO 的参数 Core 中。

(4) 采用机械产品专利专业术语词典判断各短语中是否存在属性,若是则提取并存入相应的 TO 的参数 Attribute 中,否则进入步骤(5)。

(5) 采用机械产品专利专业术语词典判断名词短语中是否存在流,若是则提取并存入相应的 TO 的参数 Flow 中,否则进入步骤(6)。

(6) 判断是否还有文本未处理,若是则返回步骤(2),否则结束提取。

根据 TO 的提取步骤提取图 7 示例得到组合结构知识如图 8 所示。

技术关系提取方法主要针对专利文本中的实施方案进行提取,其步骤如下:



图 8 组合结构提取界面

Fig. 8 Acquisition interface of patent structure

(1) 输入自然语言处理后的专利文本。

(2) 从文本中提取单句,并从单句中提取“VP”标记的动词或动词短语。

(3) 采用组成类动词分类库判断动词或动词短语的类别,确定技术关系,存入 TR 的参数 Relationship 中。

(4) 根据不同的技术关系,参照动词前后名词的单复数状态确定 TR 的参数 Relationship。

(5) 判断是否还有文本未处理,若是则返回步骤(2),否则结束提取。

采用上述方法对专利文本进行处理,按照 2.3 节对应关系将作用结构知识分别逐句写入 STRU\_XSD 和 PRIN\_XSD 进行框架表示,并分别对 STRU\_XSD 和 PRIN\_XSD 知识表示结构进行集成。最后,将上述 STRU\_XSD 和 PRIN\_XSD 分别导入 hyperModel 生成专利作用结构知识表示图。

## 4 应用实例

基于以上方法,开发了 C/S 体系结构的专利信息管理分析软件“DesignInfoManagementSystem”(如图 8)用于专利文本计算机自动处理,以 VB.NET 语言编写,采用 SQLSERVER 建立专利信息库。以 3.1 节中的专利 US7449807<sup>[11]</sup> 的实施方案文本为例,对实施方案中所包含的作用结构知识进行提取,从而验证该方法的实用性。

采用专利作用结构知识提取方法,对专利文本逐句处理提取专利作用结构中的技术对象和技术关系,通过 XSD 表示集成整合每个句子产生的 XSD 表示信息,最后对机械产品专利 US7449807 作用结构知识进行可视化表示,如图 9 和图 10 所示。图 8 示例文本包含作用结构知识:

固有属性关系 PR:主体“transmission”包含组成体“output armatures”,两技术对象无属性或者流,根据两者的单复数形式判断为“一对多”的关系;“output armature”包含组成体“magnetic insets”,两技术对象无属性或者流,为“一对多”的关系。

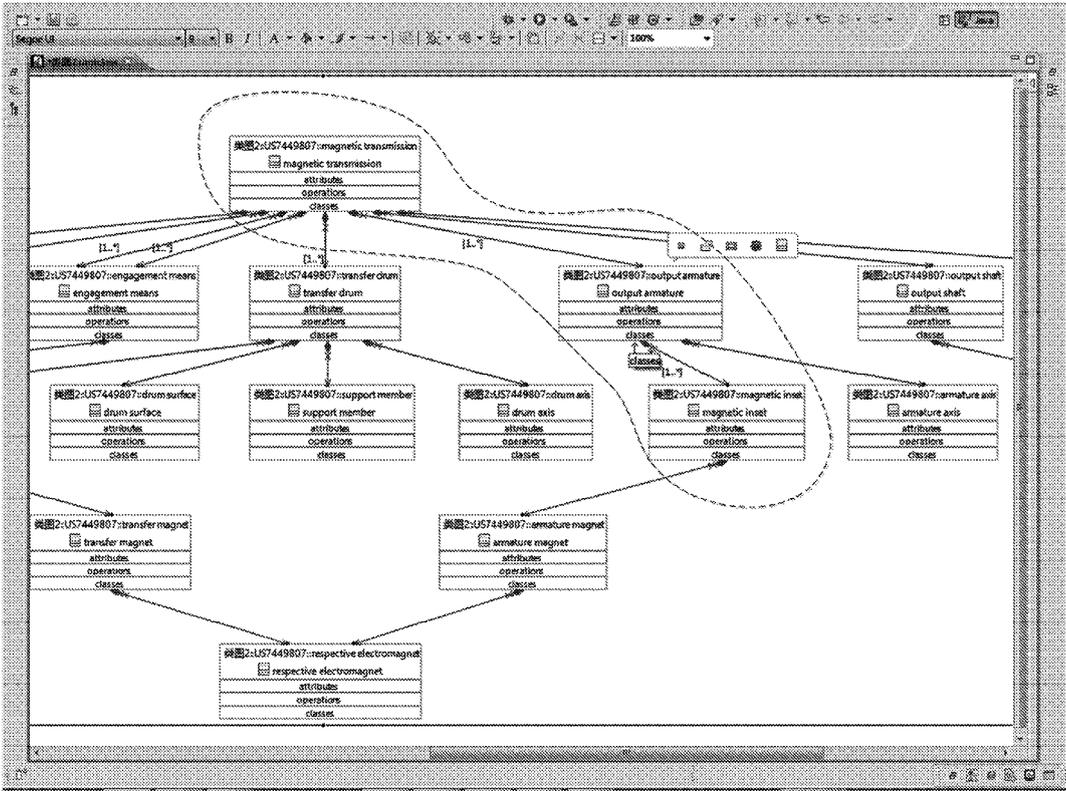


图9 US7449807 组合结构知识表示界面

Fig.9 Representation interface of structural knowledge in US7449807

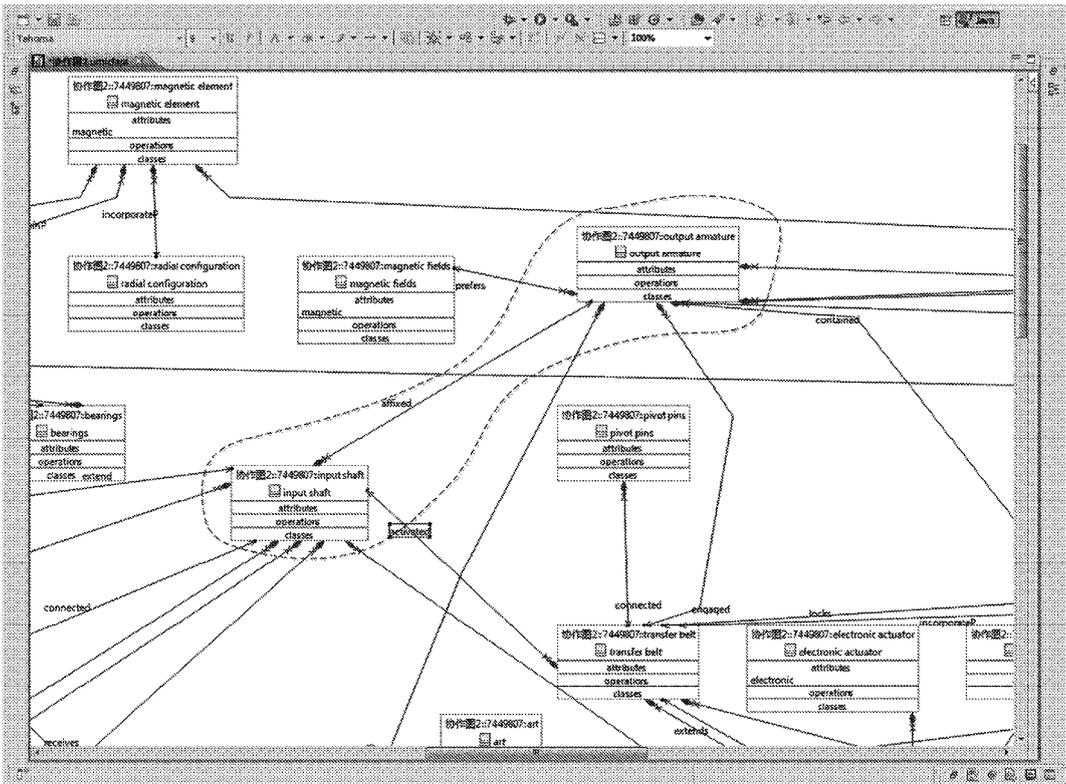


图10 US7449807 作用原理知识表示界面

Fig.10 Representation interface of principle knowledge in US7449807

动态属性关系 DR: “output armature” “affix” 于 “output shaft”, 两技术对象无属性或者流, 为“一对一”的关系。可视化表示作用结构知识如图9和图10中虚线框所示。

### 5 结论

(1) 提出的机械产品专利作用结构知识表示模型能够准确地将提取出的专利作用结构知识以

XSD 框架结构和 UML 可视化结构进行表示,并且通过这种结构化的知识表示实现了计算机自动化处理过程。

(2) 通过实例证明,该模型与现有的专利技术方案概念模型相比,具有无歧义性、自动化提取和表示等优点。

(3) 提出的机械产品作用结构知识表示模型可以有两方面的应用:该模型中的计算机辅助自动处理方法可以应用于多领域产品专利知识自动化处理,提高知识获取的效率和精度;该模型可以应用于专利知识信息库的建设,为专利知识进一步利用并辅助创新设计知识提供支持。

#### 参 考 文 献

- 1 Sowa J F. Conceptual graphs for a data base interface[J]. IBM Journal of Research and Development, 1976, 20(4): 336 ~ 357.
- 2 Hensman S. Construction of conceptual graph representation of texts[C]//Proceedings of the Student Research Workshop at HLT-NAACL, Boston, Massachusetts, 2004: 49 ~ 54.
- 3 Kamaruddin S, hamdan A R, Nor F M. Conceptual graph interchange format for mining financial statements[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Rough Sets and Knowledge Technology, 2009: 579 ~ 586.
- 4 Jaramillo C M Z, Gelbukh A F, Arangoisaza F. Pre-conceptual schema: a conceptual-graph representation for requirements elicitation[C]//Advances in Artificial Intelligence, 5th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, MICAI, 2006: 27 ~ 37.
- 5 王朝霞,邱清盈,冯培恩,等. 机械产品专利技术信息抽取方法[J]. 机械工程学报, 2009, 45(10): 198 ~ 206.  
Wang Zhaoxia, Qiu Qingying, Feng Peien, et al. Research on information extraction method of technical solution from mechanical product patent[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(10): 198 ~ 206. (in Chinese)
- 6 Pahl G, Beitz W, Wallace K, et al. Engineering design: a systematic approach[M]. 3rd ed. Berlin: Springer, 2007: 38 ~ 42.
- 7 Manschitz E, Burger H, Anzinger J, et al. Hand-held electrical combination hammer drill; US, 7044234[P]. 2006-05-16.
- 8 Jaynes E T. Information theory and statistical mechanics[J]. Physical Review, 1957, 106(4): 620 ~ 630.
- 9 hyperModel [CP/OL]. <http://www.xmlmodeling.com/hypermodel/overview/>.
- 10 Word Net 2.0 [CP/OL]. <http://www.cogsci.princeton.edu/~wn>.
- 11 Johnson N P. Magnetic transmission; US, 7449807[P]. 2008-11-11.

(上接第 261 页)

- 7 任露泉,李建桥,陈秉聪. 非光滑表面的仿生降阻研究[J]. 科学通报, 1995, 40(19): 1 812 ~ 1 814.  
Ren L Q, Li J Q, Chen B C. Research on bionic resistance reduction of non-smooth surface[J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(19): 1 812 ~ 1 814. (in Chinese)
- 8 李建桥,任露泉,刘朝宗,等. 减粘降阻仿生犁壁的研究[J]. 农业机械学报, 1996, 27(2): 1 ~ 4.  
Li J Q, Ren L Q, Liu C Z, et al. A study on the bionic plow moldboard of reducing soil adhesion and plowing resistance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(2): 1 ~ 4. (in Chinese)
- 9 郭志军,周志立,徐东,等. 高效节能仿生深松部件的试验[J]. 河南科技大学学报, 2003, 24(3): 1 ~ 3.  
Guo Z J, Zhou Z L, Xu D, et al. Experiment on high-efficient and energy-saving bionic subsoiling components[J]. Journal of Henan University of Science & Technology, 2003, 24(3): 1 ~ 3. (in Chinese)
- 10 郭志军,杜干,周志立,等. 土壤耕作部件宏观触土曲面减阻性能研究现状分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 47 ~ 52.  
Guo Z J, Du G, Zhou Z L, et al. Actuality analysis of resistance-reducing properties on soil cultivating components with different macroscopic soil-engaging surfaces[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 47 ~ 52. (in Chinese)
- 11 任露泉,徐晓波,陈秉聪. 典型土壤动物爪趾形态的初步分析[J]. 农业机械学报, 1990, 21(2): 44 ~ 49.  
Ren L Q, Xu X B, Chen B C. Initial research on claw shapes of the typical soil animals[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1990, 21(2): 44 ~ 49. (in Chinese)
- 12 张琰. 东方蝼蛄耦合特性、运动学建模及其功能仿生研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.  
Zhang Y. The research on coupling characteristics, kinematics modeling and bionic application of mole cricket (*Gryllotalpa orientalis*) [D]. Changchun: Jilin University, 2011. (in Chinese)
- 13 JG/T 90—1999 液压挖掘机斗齿分类[S].  
JG/T 90—1999 Technical requirements for teeth of hydraulic excavators[S]. (in Chinese)
- 14 同济大学. 单斗液压挖掘机[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.
- 15 陈再良,李亚兰. 矿用挖掘机斗齿的研制[J]. 矿山机械, 1992(9): 9 ~ 11.  
Chen Z L, Li Y L. Development of a mine excavator's bucket teeth[J]. Mining & Processing Equipment, 1992(9): 9 ~ 11. (in Chinese)