

# 基于领域需求结构化描述的自动分析建模方法

欧阳柳波, 郭海林

OUYANG Liubo, GUO Hailin

湖南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410082

School of Information Science & Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

OUYANG Liubo, GUO Hailin. Automatic analysis modeling method based on structural description of domain requirements. *Computer Engineering and Applications*, 2016, 52(20):52-57.

**Abstract:** Software requirements description and analysis have always been the important work of requirements engineering, while there exists close association, and automation needs analysis should be based on standard description of the requirements. This paper presents an automatic analysis modeling method based on the structural description of domain requirements, and the whole system is described according to some given organizational structure. The sentence pattern is combination of semantically rich pattern and common sentence pattern, meanwhile natural language is used to deal with related technical problem. Automatic modeling is achieved based on modeling elements identification under structural description through predefined conversion rules, and finally forms the UML graphical analysis results.

**Key words:** domain requirements; natural language processing; sentence rule; text analysis; requirements modeling

**摘 要:** 软件需求描述和需求分析建模一直以来是需求工程的重要工作, 且存在紧密的关联, 自动化需求分析建模与验证需要以规范的需求描述为基础。提出基于领域需求的结构化描述的自动分析建模方法, 通过对系统整体按照一定的组织结构进行描述, 描述句式采用富含语义的句型和普通句型相结合的方式, 运用自然语言处理相关技术, 通过预定义的转换规则对结构化描述下的需求文本进行建模元素识别, 实现自动化的建模, 最终生成UML图形化分析结果。

**关键词:** 领域需求; 自然语言处理; 句型规则; 文本分析; 需求建模

**文献标志码:** A **中图分类号:** TP391.1 **doi:** 10.3778/j.issn.1002-8331.1411-0298

## 1 引言

软件需求通常是用自然语言来描述, 然而用自然语言描述的需求经常出现歧义、不完全、不一致的情况<sup>[1]</sup>。解释和理解任何需求都可能受时间、地点、心理因素的影响, 需求分析人员需要发现和确定这些有歧义的、不一致的、不完整的需求<sup>[2]</sup>。面对大量的自然语言描述的需求, 人为的检查可能会忽略掉一些问题, 产生多重解释, 并且如果需求分析人员没有深入到具体领域, 这样很难发现隐含的需求<sup>[3-4]</sup>。需求工程中迫切需要自动化的需求分析建模方法, 来减轻需求分析人员的压力和提高软件开发的进度。自动化分析建模的重要基础是需求描述文本, 但用自然语言描述的需求文本通常具有形

式多样, 内容纷杂等问题。因此如何进行需求描述和如何进行需求自动化分析建模是本文关注的重要问题。

## 2 相关工作

美国密希根大学著名的信息系统软件工程研究室ISDOS泰柯(Tei Chroew)团队所研制的问题描述语言/问题描述分析(Problem Statement Language/Problem Statement Analyzer, PSL/PSA)是一种比较有代表性的软件开发工具<sup>[5]</sup>。PSL作为一种半形式化的需求描述语言, 它在某些局部方面允许用户使用自然语言。PSA是PSL的支撑系统, 对用PSL描述的信息进行分析整合, 可以提供36种形式的辅助分析报告<sup>[6]</sup>, 但PSL/PSA存在

**基金项目:** 湖南省产学研结合重大科技成果转化项目(No.2010XK6024)。

**作者简介:** 欧阳柳波(1972—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为智能信息处理、软件工程; 郭海林(1989—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为软件工程、自然语言处理, E-mail: 501559484@qq.com。

**收稿日期:** 2014-11-24 **修回日期:** 2015-03-18 **文章编号:** 1002-8331(2016)20-0052-06

**CNKI网络优先出版:** 2015-06-05, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20150605.1103.012.html>

两个问题:第一PSL/PSA是以英文描述和处理为主对于中文为母语的国内不能很好地适应;第二PSL语言刻意追求规范每一个对象定义,导致过于复杂,需求人员在进行需求工程前需要进行严格培训,给需求定义带来难以跨越的困难。

Deeptimahanti等<sup>[7]</sup>开发的UMGAR可以对较大需求文档自动化地实现静态和动态设计模型的开发。UMGAR从自然语言描写的需求中用面向对象分析和设计方法抽取对象,产生分析和设计类模型。该系统用指定的语法结构规则和自然语言处理工具抽取面向对象分析的元素,如用例、类、角色、操作、属性等。但由于系统中的语法规则限定使用英文句法,同时用到的自然语言处理工具只对英文进行处理,对中文描述的需求无法适用。

在中文的需求自动建模工具开发方面,纪磊等<sup>[8]</sup>和利锦标等<sup>[9]</sup>分别于2008和2010年研发出了知文需求半自动建模系统(CREAT和CREAT2)。他们先进行分词和词性标注,然后用自定义句式框架匹配的方法识别类图中的元素,最后以问卷的方式将识别结果和用户进行交互确认。由于自然语言分析得到的信息量少,匹配句式简单,识别度不高,其准确率并不非常理想。

本文作者曾提出一种基于受限语言的领域需求描述方法<sup>[10]</sup>。通过设计受限语言的需求获取模板规范表示领域需求通过词汇合法性检测和句型匹配保障领域需求描述的正确性,但句型规则相对简单,匹配规则不丰富,对软件系统的需求缺少全面性的阐述的机制,并且在自动化需求分析方面没有做深入研究。

鉴于已有研究工作中的不足,本文的研究工作是设计了结构化描述的需求框架和丰富的句型规则,且进一步对生成的需求文档进行分析处理,识别需求建模元素,最终自动化生成类图和用例图。

3 结构化需求描述

汉语的构词成句规则千变万化,但对于技术文档来说常规的表述方式是通用的。分析大量的需求文档,规范的需求陈述有句型结构完整,逻辑描述清晰等特点。

3.1 相关定义

定义1(富含语义句型规则(Rich in semantic pattern rules)) 句型规则中通过限定句型结构,限定谓语动词来表达较清晰的语义。

定义2(句子描述标签(Sentence description label)) 一个句子描述标签用一个三元组来标志,表示如下:  $Label\_s_i=(ID_i, D_i, M_i)$ , 其中,  $ID$  表示当前需求的编号;  $D$  表示对当前需求的描述,  $D$  不能为空;  $M$  表示当前需求的词性结果。

定义3(类图条目(Class diagram entry)) 类图条目用以表示需求分析中类图元素的归属关系。类图条目

的结构形式以三元组形式标志,表示如下:

$Item\_class=(ClassName, Attributes, Operations)$

其中  $ClassName$  表示类名;  $Attributes$  表示属性集合,具体存储形式  $Attributes=<attr_1, attr_2, \dots, attr_i, \dots, attr_n>$ ,  $attr_i$  表示类的第  $i$  个属性;  $Operations$  表示该类的操作集合,存储形式  $Operations=<oper_1, oper_2, \dots, oper_i, \dots, oper_n>$ ,  $oper_i$  表示类的第  $i$  个操作。

定义4(用例图条目(Use case diagram entry)) 用例条目表示需求分析中用例图元素的归属关系。本文为了便于存储用例图以结构化条目形式表示,形式如下:

$Item\_UseCase=(Actor, UseCases)$

其中  $Actor$  表示角色,  $UseCases$  表示该角色参与的用例集合,集合存储形式  $UseCases=<useCase_1, useCase_2, \dots, useCase_i, \dots, useCase_n>$ ,  $useCase_i$  表示具体用例。

定义5(结构化描述(structured description)) 以特定的方法按照规定的方式进行描述,达到结构规范,避免随意性的目的,结构化描述分为规范的框架描述和规则句式描述两个方面。

3.2 结构化需求框架描述

针对需求描述方面随意,相同语义表达多样等特点<sup>[11]</sup>,本文从需求整体功能点进行划分,对需求中涉及到的数据、参与角色,约束条件,处理步骤和流程方面进行限定。需求描述时遵循以下步骤:

- (1)整体模块划分,系统中的全局角色和数据在此定义。
- (2)对模块进行描述,简要描述该模块要实现的功能。
- (3)该模块下涉及的数据信息。
- (4)该模块的参考资料。
- (5)该模块的责任人。
- (6)该模块是否可以继续划分,如果可以,从(2)重新开始。
- (7)该模块下分的具体功能点操作。
- (8)描述处理步骤。

直到系统每一个功能都描述结束。

在具体描述时,本文归类选取了一些使用比较频繁且相对简单的句型,用户选用设计好的句型对领域需求进行描述。

3.3 定义句型模式规则集

自然语言表达的随意性决定自动化处理的难度大,句型、词性和词义的多种因素影响使得语句变化多样,但通过分析研究大量需求文本,发现大部分需求可以表述成句型规范的语句。在此定义了富含语义的句型规则和基本句型规则,其中句子成分的词性表示:主表示名词/名词性组合/短语;谓表示动词/动词性组合;宾表示名词/名词性组合/名词性从句/短语。通过限定谓语动词和句型特征来表达较为清晰的语义的富含语义的

句型规则 1~3 如图 1 所示。

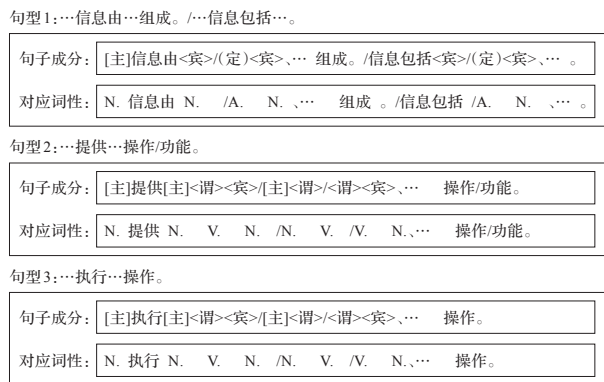


图 1 富含语义句型模式

除了限定谓语动词的句型外,还有一些基本句型,这类句型虽然表达语义较为宽泛,但是基本的语言表达形式,对需求描述也较为重要。基本句型规则 4~5 如图 2 所示。

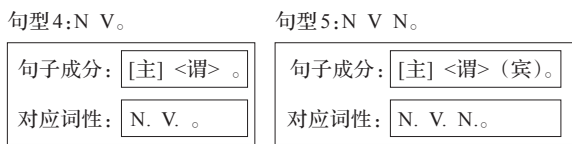


图 2 基本句型模式

3.4 构建领域字典

领域需求中涉及到的较多的专业领域词汇,这些词汇是理解领域需求的基础,获取需求中也用到领域词汇,需求文本分词和词性标注需要利用领域词典来做检测,所以要实现领域需求的结构化描述下的自动分析建模需要建立领域词汇库。为了方便高效地构建结构完善的领域词典,采用可视化添加领域词汇的方式。完整的领域词汇词条中涵盖名称、词性、同义词、标示符、词汇描述等属性。添加领域词汇对话框,如图 3 所示。



图 3 添加领域词汇

星号标注的属性是必填选项,点击“ok”领域词汇加入到领域词汇库中。丰富的领域词汇库为领域需求结构化描述分析建模提供保障。

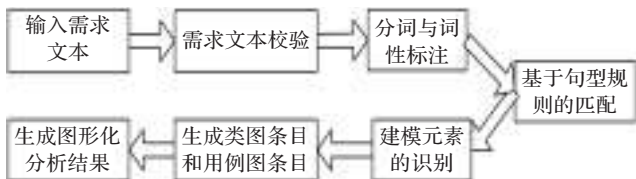


图 4 处理流程图

4 自动分析建模

需求工作人员在开发环境中输入领域需求,经过前期处理后系统会自动调用词法分析器和语法分析器校验需求文本。对需求文本进行需求分析时,根据匹配到的句型进行语义分析,识别出类,类的属性和操作,角色和用例等建模元素,最后生成图形化分析结果,如图 4 所示。

4.1 需求获取

用户需求编辑环境下领域需求获取采用领域需求结构化描述模板获取。领域需求获取模板描述了领域需求功能模块的基本内容其基本结构如下:

系统的总体划分---S 分为 F1、F2、... 子系统。  
{角色},{数据}  
子系统 F1:简单句或复合句对需求进行描述  
{  
<模块的划分----F1 分为 W1、W2、... 子模块。>  
{数据}  
{参考资料}  
{负责人}  
<子模块 W1:简单句或复合句对需求进行描述  
{  
...  
}  
>  
}  
子系统 F2:简单句或复合句对需求进行描述  
...

以上是一个简单的需求获取模板,系统提供该模板框架。用户只需在子需求后添加自己的需求信息。同时,系统添加了计算机辅助功能,用户在添加需求信息时,系统会根据用户填写的首字弹出提示框,该提示框中包含了领域词典中所有包含该首字的领域词汇,方便用户使用领域词汇。同时也可选用快捷键选用句型,帮助用户完成需求信息。

采用这种方式,限制用户描述需求信息的随意性。同时,该方法可以统一不同用户的需求描述词汇。规范需求描述用户的描述信息并将其存储在需求原始文档中。利用 ANTLR 可以将语法文件自动生成相应的词法/语法分析器<sup>[12]</sup>。可以利用词法/语法分析器将经过词性标注的输入的结果进行编译,并转换成抽象的语法树,之后基于树分析器开发一个类型检查器,检查需求描述文档中的需求文本描述语句是否合法,进行需求验证分析。



4.2 文本分词与词性标注

得到需求文本使用自然语言处理技术做分词和词性标注,本文采用成熟的 ICTCLAS 分词系统对需求文本进行分词操作。

对词性标注根据结构化描述需求文本中语言的特征,在此将 ICTCLAS 标志集中的标点进行修改。顿号“、”的词性用 wp1 表示,找出词语对应的词性对于语句规则的验证和模式匹配来说具有重要意义。使用一些基于词性组合的句型结构语法,依靠特征句型去分析文本识别句子模型。

结合需求具有特定领域背景这一属性,在需求文本处理过程中使用领域词典。需求文本中存在大量的领域词汇,这些词汇在分词或词性标注的过程中可能会发生错误,会直接影响模式匹配规则,从而影响自动生成 UML 模型。为了解决此问题,使用领域词典,通过遍历领域词典,修改被错误标注的词性和分词结果,大幅度提高了词性标注的准确性。

4.3 句型模式匹配

需求中建模元素蕴含在需求文本中,对其进行句法分析是必不可少的一部分。句子成分分析需要通过词性组合进行句型匹配。需求描述文本经过分词和词性标注处理以句子为单位将词性组合存储在句子描述标签  $Label_{s_i}$  中。

算法 句型匹配算法

步骤 1 通过语句  $s_i$  的  $Label_{s_i}$  获取语句的词性组合  $M_i$ 。

步骤 2 将  $M_i$  带入句型规则库,循环扫描句型规则库判断  $M_i$  在句型规则库中是否存在匹配项,如果存在返回句型规则编号执行对应的处理跳转步骤 3,反之,跳转步骤 4。

步骤 3 执行解析句子成分,执行对应的需求建模方法。

步骤 4 如果文本没结束,循环步骤 1~步骤 4。

步骤 5 结束。

4.4 需求建模

需求分析建模有多种方式,其中 UML 面向对象的需求分析是最常用的方法<sup>[13]</sup>,针对常用的图形化建模工具需要人工分析建模的问题,本文可自动化的识别建模元素。如图 5 所示,对需求描述进行自动化的分析建模,词性组合,句式匹配,识别文本中的建模元素,存储成规范的格式,生成类图和用例图。

类识别算法:

$N_i$  表示句子中出现的第  $i$  个名词,  $V_i$  表示句子中出现的第  $i$  个动词。

(1)匹配句型模式 1,对其句子进行分析建模,如存在  $ClassName$  为  $N_1$  的类图条目则  $N_2, N_3, \dots, N_i, \dots$  作为属性

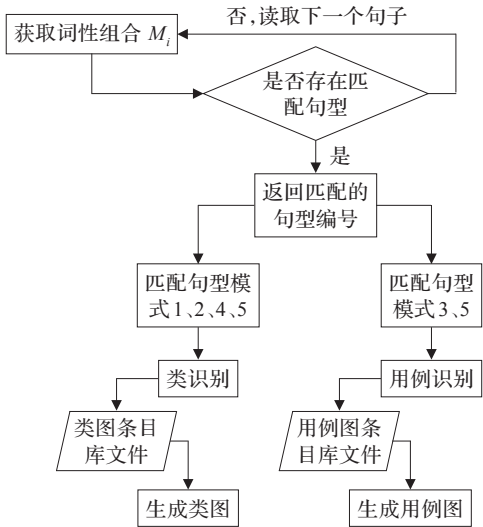


图 5 类图和用例图生成流程图

存入类图条目 ( $N_1, Attributes, Operations$ ) 的  $Attributes$  下;如果不存在  $ClassName$  为  $N_1$  的类图条目则新增类图条目  $N_1$  作为  $ClassName$ ,  $N_2, N_3, \dots, N_i, \dots$  作为属性  $attr_1, attr_2, \dots, attr_i, \dots$  存入  $Attributes$ 。

(2)匹配句型模式 2,对其句子进行分析建模,如存在  $ClassName$  为  $N_1$  的类图条目则  $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots$  作为操作存入类图条目 ( $N_1, Attributes, Operations$ ) 的  $Operations$  下;如果不存在  $ClassName$  为  $N_1$  的类图条目则新增类图条目  $N_1$  作为  $ClassName$ ,  $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots$  作为操作  $oper_1, oper_2, \dots, oper_i, \dots$  存入  $Operations$ 。

(3)匹配句型模式 4:对基本句型模式,如没有  $ClassName$  为  $N_1$  的类图条目则对其句子进行分析建模建立条目  $N_1$  为类名,  $V_1$  代表操作加入 ( $N_1, Attributes, Operations$ ) 的  $Operations$  下;如果存在则直接将  $V_1$  代表操作加入到  $Operations$  下。

(4)匹配句型模式 5:对基本句型模式,如没有  $ClassName$  为  $N_1$  的条目对句子进行分析建模建立条目  $N_1$  为类名,  $V_1$  作为操作加入 ( $N_1, Attributes, Operations$ ) 的  $Operations$  下,  $N_2$  作为属性加入到  $Attributes$  下;如果存在则直接将  $V_1$  作为操作加入到  $Operations$  下。  $N_2$  作为属性加入到  $Attributes$  下。

用例识别算法:

(1)匹配句型模式 3,“...执行...操作”。如不存在  $Actor$  为  $N_1$  的用例图条目则新增用例图条目角色为  $N_1$ ,  $V_1 N_2, V_2 N_3, \dots, V_i N_{i+1}, \dots$  为其用例  $useCase_1, useCase_2, \dots, useCase_i, \dots$  生成 ( $N_1, < V_1 N_2, V_2 N_3, \dots, V_i N_{i+1}, \dots >$ ) 用例图条目,否则直接将  $V_1 N_2, V_2 N_3, \dots, V_i N_{i+1}, \dots$  加入用例图条目  $UseCases$  集合中。

(2)匹配句型模式 5,对基本句型模式,如果不存在  $Actor$  为  $N_1$  的用例图条目则新增用例图条目,  $N_1$  为角

色,  $V_1N_2$  放入  $UseCases$  集合下, 否则  $V_1N_2$  加入角色为  $N_1$  的用例图条目的  $UseCases$  集合中。

用例图条目去除冗余的用例; 类图条目去除冗余的属性和操作。为生成图形化分析结果对开源的 UML 图形生成工具 AmaterasUML 二次开发使其可以直接读取存储的类图条目、用例图条目, 生成类图和用例图。

## 5 实验及分析

本文以“人力资源管理系统”领域的需求描述为例, 针对上述提出的领域需求结构化描述方法进行人力资源管理系统的需求描述, 并生成相应需求分析模型图。使用结构化的需求描述框架描述的系统, 结构层次分明, 适当限定的句型规范, 结合领域词典的词性定义, 为自动化的需求建模提供可能。用户在结合相应的领域词典和需求描述的整套规则在需求开发环境下输入部分领域需求, 如图 6 所示。



图6 人力资源管理系统需求描述

点击“生成类图”以生成的人力资源管理人员类图为例, “人力资源管理人员信息由工号、姓名、用户名、密码、权限级别组成。”经过分词词性标, 匹配到句型模式 1, 检测类图条目不存在类名为“人类资源管理人员”的类图条目, 则新增  $Item\_class = (\text{人力资源管理人员}, <\text{工号}、\text{姓名}、\text{用户名}、\text{密码}、\text{权限级别}>, \diamond)$ 。“人力资源管理人员登录系统。”匹配句型模式 5 存在  $ClassName$  为“人力资源管理人员”的  $Item\_class$  则“登录”加入到  $Operations$  下“系统”加入到  $Attractions$  下。“人力资源管理人员修改密码”匹配句型模式 5 存在  $ClassName$  为“人力资源管理人员”的  $Item\_class$  则“修改”加入  $Operations$  下“密码”加入  $Attractions$  下。  $Item\_class = (\text{人力资源管理人员}, <\text{工号}、\text{姓名}、\text{用户名}、\text{密码}、\text{权限级别}、\text{系统}、\text{密码}>, <\text{修改}、\text{登录}>)$ 。去除冗余的  $Attributes$ 、 $Operations$ , 如  $Item\_class$  中  $ClassName$  的密码属性, 得到最终的类图条目, 即可生成相应的类图。如图 7 所示。

点击“生成用例图”, 可以生成用例图条目, 最终生成用例图。从实验中可以看到本文方法可以便捷地地生产类图和用例图, 但仍然存在着建模元素分析不准确



图7 类图

不完善的问题, 需要人工辨别修正。为了验证本文方法的效果, 从三个领域需求分别是人力资源管理系统, 电子商务系统, 进销存管理系统, 分别进行了需求描述与建模实验, 按照结构化需求描述框架描述三个完整系统需求的字数分别为 578, 843, 780。方式一是利用本文提出的自动分析方法从类图条目和用例图条目得到的需求建模元素, 另外将这三份需求描述的文本交给具有相关领域知识的需求分析师采用人工方式识别建模元素, 两种方式得出的建模元素进行比较, 将结构化描述自动分析出的建模元素和具有领域知识的需求分析师人工识别出的建模元素做对比, 其中人工识别的为全部正确, 且所有建模元素全部召回, 则系统自动分析出的实验结果如表 1 所示 ( $P$  和  $R$  分别代表准确率和召回率)。

表1 三次实验准确率对比

建模元素	概率	%		
		人力资源管理系统	教务管理系统	进销存系统
类	$P$	73.5	93.7	76.4
	$R$	64.2	74.8	65.8
属性	$P$	53.7	75.4	61.2
	$R$	49.2	65.7	53.8
操作	$P$	79.3	68.8	78.9
	$R$	70.4	59.9	79.0
角色	$P$	83.5	77.1	87.3
	$R$	64.0	74.9	66.6
用例	$P$	63.8	74.5	75.7
	$R$	61.9	60.0	69.9

分析表中数据, 三次实验识别 5 种建模元素的平均值, 可知类和角色的准确率和召回率比其他三种元素高; 5 种元素的准确率和召回率比较, 基于结构化描述的建模元素的准确率比召回率令人满意, 准确率的平均值达到 75.8%, 这表明句式模型的选取能表示常用需求表达方式, 且富含语义。召回率的平均值为 65.3%, 这表明当前句型模型还不能涵盖需求文档中的所有句式结构, 说明还需要进一步丰富句型规则。

国内中文需求自动建模工作研究相对较少, 在文献[14]中对需求文本中的关系进行抽取, 抽取需求文本中的实体和关系, 从实验结果看抽取出的关系准确率并不

高,并且该方法不能产生直观的UML图形化分析结果。国外有相对成熟的研究<sup>[15]</sup>,由于中英文描述语言的差异,不能用同一数据集对比实验,但从结果上看,本文方法对中文环境下的软件需求工程具有实用价值,因为中文语义关系复杂多变,本文基于规则的需求描述能保证获得需求的规范,避免不必要的歧义产生,为需求自动建模提供可能。

## 6 结论

本文提出了基于领域需求结构化描述的自动分析建模方法。该方法运用结构化的需求框架和丰富的句型规则描述领域需求,对生成的需求文档进行分词,词性标注等处理后进行句型模式匹配,分析句子成分,识别需求建模元素,最终自动化生成类图和用例图。虽然本文方法获取的需求分析与自动转化的结果仍需人工进行校正,但自动化的需求分析加快了软件开发进程。下一步的工作,一是扩展需求描述的处理成果,如实现状态图,数据流图等。二是继续充实句型,需求描述常常采用多种句型进行描述,当前表达相同语义的句型有限,在定义需求时要求严格,所以需要增加语义关键词和句型。三是在需求表达方面还不完备,不能应用于任意的系统开发中,要不断改善规则集,全面地描述需求,做成完备通用的软件需求描述语言。

## 参考文献:

- [1] 万高峰,肖苑.领域需求的快速需求分析方法和辅助系统[J].计算机应用与软件,2012,29(8).
- [2] Denger C, Berry D M, Kamsties E. Higher quality requirements specifications through natural language patterns[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Software-Science, Technology and Engineering. USA: IEEE, 2003.
- [3] Ilieva M G, Ormandjieva O. Automatic transition of natural

language software requirements specification into formal presentation[C]//10th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems. Berlin: Springer, 2005.

- [4] Manurung R. Syntax-driven semantic analysis for constructing use case diagrams from software requirement specifications in indonesian[C]//Advanced Computer Science and Information Systems(ICACSIS). USA: IEEE, 2012.
- [5] PSL/PSA[EB/OL].[2014-05-20].<http://pslpsa.com/>.
- [6] 许龙山,吴东升,程崇炎.需求描述及分析工具CPSL/CPSA[J].软件学报,1990(2):39-47.
- [7] Deeptimahanti D K, Babar M A. An automated tool for generating UML models from natural language requirements[C]//2009 IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering, 2009.
- [8] 纪磊,刘磷.“知文”——基于自然语言的需求分析和建模方法[J].计算机科学,2008,35(11):48-53.
- [9] 利锦标,李童,刘磷.基于类图语义框架的中文需求分析方法[J].电子学报,2011,39(3):94-98.
- [10] 欧阳柳波,王英.基于受限语言的领域需求描述方法[J].计算机应用研究,2014,31(2):443-447.
- [11] 刘群.汉语词法分析和句法分析技术综述[R].北京:中国科学院计算技术研究所,2002.
- [12] 高尚.使用Antlr开发领域语言[EB/OL].[2011-03-07].<http://www.ibm.com/developerworks/cn/java/j-lo-antlr/>.
- [13] Sanyal R, Kumar D D. Static UML model Generator from Analysis of Requirements(SUGAR)[C]//Advanced Software Engineering & Its Applications, 2008.
- [14] 李天颖,刘磷,赵德旺,等.一种基于依存文法的需求文本策略依赖关系抽取方法[J].计算机学报,2013,36(1):54-62.
- [15] Deeptimahanti D K, Sanyal R. Semi-automatic generation of UML models from natural language requirements[C]//Proceedings of the 4th India Software, Kerala, India, 2011:165-174.

(上接38页)

- [30] Brakerski Z, Kalai Y T, Katz J, et al. Overcoming the hole in the bucket: public-key cryptography resilient to continual memory leakage[C]//Foundations of Computer Science-FOCS'10, 2010:501-510.
- [31] Dodis Y, Haralambiev K, Lopez-Alt A, et al. Cryptography against continuous memory attacks[C]//Foundations of Computer Science-FOCS'10, 2010:511-520.
- [32] Waters B. Dual system encryption: realizing fully secure IBE and HIBE under simple assumptions[C]//Advances in Cryptology-CRYPTO 2009. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009:619-636.
- [33] Lewko A, Waters B. New proof methods for attribute-based

encryption: achieving full security through selective techniques[C]//Advances in Cryptology-CRYPTO 2012. Berlin/Heidelberg: Springer, 2012:180-198.

- [34] Wang Z, Chu Z. Efficient mediated ciphertext-policy attribute-based encryption for personal health records systems[J]. Journal of Internet Technology, 2015, 16(5): 877-884.
- [35] Beimel A. Secure schemes for secret sharing and key distribution[D]. Haifa, Israel: Israel Institute of Technology, Technion, 1996.
- [36] Naor M, Segev G. Public-key cryptosystems resilient to key leakage[J]. SIAM Journal on Computing, 2012, 41(4): 772-814.