

基于本体的元需求模型与元需求集研究*

罗新星, 王卫芳

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘 要: 针对大型信息系统需求的复杂性,从需求的元级概念出发,提出了元需求概念,分析定义了元需求的构成要素、要素间关系及特征;用模型的方法来表示元需求,构建元需求模型,并形式化地表示模型。引进本体概念,将元需求模型看做是一个本体,用本体网络语言表示元需求模型;借鉴本体构建方法,基于 Protégé 工具构建了元需求集。元需求模型及元需求集实现了需求获取与分析,为基于元需求的需求获取及分析提供基础。

关键词: 软件需求; 元需求; 元需求模型; 元需求集; 本体; 本体网络语言

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)04-1391-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.053

Research on meta-requirement model and meta-requirement set based on ontology

LUO Xin-xing, WANG Wei-fang

(Business School, Center South University, Changsha 410083, China)

Abstract: According to the complex requirements of large-scale information system, this paper proceeded from the meta-level of requirements, defined the integrant part of meta-requirement and analyzed their relationships and characteristics. Based on model approach, it expressed meta-requirement (MR) as meta-requirement model (MRM) which was formally expressed. Then, based on ontology, it described the MRM by the ontology Web language (OWL). And it introduced the Protégé tool to establish the meta-requirement set (MRS). Finally, it applied the MRM and MRS to requirements acquisition and analysis. The research results provide foundation for requirements acquisition and analysis based on meta-requirement.

Key words: requirement; meta-requirement; meta-requirement model; meta-requirement set; ontology; OWL

0 引言

软件需求工程过程一般可分为需求获取与描述、需求分析、需求验证和需求管理等几个阶段。在大型复杂信息系统的开发中,如何快速地获取和准确地表达用户需求,是长期困扰软件开发者的难题,从而引发了多种需求获取和表示方法的研究。

传统的需求获取方法多用在一次性的需求获取中,执行一些具体的需求行动,在行动中形成对相关信息的认知和理解^[1]。现在比较流行的需求获取方法有基于情景、基于知识、目标驱动和面向方面等需求获取方法等^[2]。在各种需求获取及分析过程中,都引入了模型的概念。模型的作用主要体现在,通过模型驱动需求的获取、分析及重用等。但研究表明上述方法基于过程,对软件本身的关心较少甚至没有关心^[3]。因此, Gorschek 等人^[4]提出应该将研究重点放在产品本身,从产品或需求本身出发研究需求获取和分析方法。

元模型或元模拟法从需求本身出发,试图找出需求的最基本特点和最小组成单元(元需求);然后采用模型的方法描述元需求,再从元需求扩展到实际需求。其相关的研究有: KAOS^[5]项目提出的元模型驱动的需求获取方法,其模型基于目标定义了元概念、元关系及元属性。Lopez 等人^[6]提出了支持需求重用的元模型,其作为概念模式将半结构化的需求图表

融入到重用策略中,该模型包括活动、主题、目标、约束、连接器及状态六个要素。Bawdry 等人^[7]提出了一种需求的元模型以及如何在需求定义的顶级自然语言约束下使用。文献[8]提出了模型驱动工程方法来融合不同的需求规格,同时通过使用定义的核心元模型来揭示它们之间的不一致。但是,这种核心元模型主要用于从已有的文档中产生一个整体的需求模型,并不能详述实体和关系,也不支持定制化。Tang 等人^[9]提出了一种元需求模型,定义的元需求的层次模型主要面向大型可信软件的需求分析与管理方法,但此研究并没有对元需求模型的要素进行具体定义。

本文旨在前人研究的基础上找出需求的最基本的组成单元,用模型的方式对其进行表示,并用形式化的语言对其进行描述。给出一种元需求模型的表示及元需求集的构建方法,并分析了元需求模型及元需求集如何实现需求获取及分析。

1 元需求的概念

元需求(meta requirement, MR)是需求的元级概念,是需求的最小组成单元,体现了需求的最基本特点。

1.1 元需求的构成要素

通过对上述文献研究的比较,抽象出共性,提出元需求的

收稿日期: 2011-09-05; 修回日期: 2011-10-11 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90818014); 国家自科基金委创新群体项目(70921001/G0104)

作者简介: 罗新星(1956-),男,湖南邵阳人,教授,博导,主要研究方向为管理信息系统(star@mail.csu.edu.cn);王卫芳(1988-),女,湖南益阳人,硕士,主要研究方向为可信软件。

构成要素。

1.1.1 元需求基本要素

a) 标志符 (ID), 需求的唯一标志。

b) 类型 (type), 需求所属的类别。在此仅给出两个顶级类型: 功能性需求 (functional requirement, FR) 和非功能性需求 (non-functional requirement, NFR)。

c) 描述 (description), 需求的描述信息, 通常以文本的形式存在。复杂的需求可添加附加描述 (additional description, AD)。

d) 权重 (priority), 需求的重要程度, 由各个需求提出者给出或由专家给出。有不同的表述形式, 在此给出常用的五个语言评价级别: 不重要 (weak)、较不重要 (medium weak)、一般 (fair)、较重要 (medium strong) 和重要 (strong)。

e) 状态 (status), 表示需求在实现过程中的状态。一般包括提出 (proposed)、分析 (analyzed)、接收 (accepted)、驳回 (rejected) 和更换 (replaced) 几种状态。

1.1.2 关系 (relationship, RS)

关系是需求之间相互作用产生联系的桥梁, 是需求组成系统的基础。关系表示为 RS (source, target, degree), source 和 target 表示相互关联的需求, degree 表示关系的强弱程度。其中 degree 可赋予不同的含义, 如文献[10]将其定义为贡献值, 本文中并未对其进行具体的阐述。为了满足高度概括性和通用性, 在此给出了需求间的四种基本关系:

a) 包含 (contains, CT) 关系。需求 R_1 包含需求 $R_2, \dots, R_n$, 指 R_1 是 $R_2, \dots, R_n$ 的一个组合形式。这种关系体现在多个子需求组成一个复杂的需求, 是一种从下自上的关系。

b) 精化 (refines, RF) 关系。需求 R_1 精化需求 R_2 , 是指 R_1 在 R_2 的基础上更加明确细化。这种关系是一种从上而下的关系, 为需求的细分提供基础。精化关系是包含关系的逆过程, 即若 R_1 包含 R_2 , 则 R_2 精化 R_1 。

c) 冲突 (conflicts, CF) 关系。需求 R_1 与需求 R_2 冲突, 是指 R_1 的实现阻碍 R_2 的实现, 反之亦然。

d) 约束 (restricts, RT) 关系。存在于非功能性需求 (NFR) 和功能性需求 (FR) 之间, 即 NFR 是对 FR 的一种约束。这种关系为 NFR 的识别与精化提供依据^[11]。

这四种关系在不同的应用中可以被特殊化, 即为了便于理解可以给关系命不同的名字。

1.1.3 其他要素

a) 涉众 (stakeholder, SH), 利益相关者。涉众是需求的直接或间接提出者。根据涉众的重要程度设置其权重值, 可通过权重值协调涉众之间的利益冲突。

b) 测试用例 (testcase, TC), 是用来测试需求的实例。一般在测试阶段给出, 在同类项目中可重用。

c) 术语 (term, T), 是指在需求中用到的专用名称, 包括企业领域、应用领域和软件技术领域等的专业术语。术语的集合组成一个词汇表 (glossary, G)。

上面给出的元需求的构成要素及其关系都只是一种自然语言的描述, 目的是为了便于理解。在下文中将给出其形式化描述。

1.2 元需求的特征

在构建元需求时定义了如下三条构建原则: a) 最小承诺, 对拟建模对象给出尽可能少的约束; b) 通用性, 对不同类型的需求具有普遍适用性; c) 最大单调可扩展性, 添加新的内容,

对已有的内容无须改变。满足上述约束条件的元需求, 具有如下特征:

a) 普遍适用性。从元需求构成方面来说, 其构成要素是已有的各种模型中抽象出的共性, 因此它可应用到不同的具体模型中。同时, 没有对需求精细分类, 而是将分类后移到具体的应用中, 因此元需求适合各种类型的需求。

b) 较强的演化能力。元需求的演化能力体现在其对外部应用环境及技术变化的应变能力。元需求的定义与具体的平台及技术无关, 故其应变能力较强。

c) 元需求的重用性。元需求模型的重用, 一方面, 通过建立的元需求模型可以引导需求获取; 另一方面, 元需求集是实际元需求的集合, 作为知识库实现重用。

2 元需求模型与元需求集

元需求模型 (meta requirement model, MRM) 是元需求的一种模型化表示, 便于理解和交流。图 1 给出了元需求模型。

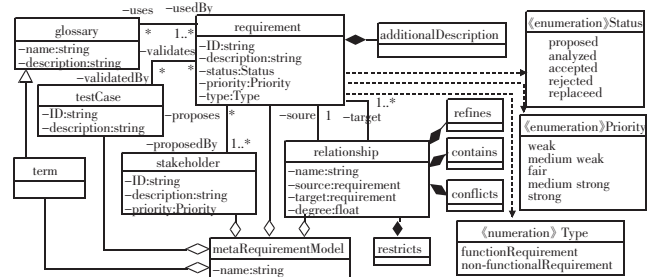


图1 元需求模型

2.1 元需求模型的形式化表示

定义1 元需求模型 $MRM = \{R, RS, CT, RF, CF, RT, SH, TC, T, GS, AD\}$ 。

根据 IEEE 标准 610.12 [172] 对需求的定义, 系统 (system, S) 为解决某个问题或者到达某种目的所需要的条件 (qualification, Q) 和功能 (function, F)。给出:

定义2 元需求 $R = \langle F, Q, S \rangle$, 另一种表示为 $\forall s (F(s) \wedge Q(s)), s \in S$ 为真。其中, F 为功能谓词对应功能性需求, Q 为限制条件谓词对应非功能性需求, S 为在限制条件下满足功能的一组系统。s 为 S 中的任意一个系统。

在需求的形式化表示的基础上, 本文将给出各种关系的形式化定义。

1) 包含关系 (CT)

以功能性需求为例, 假设 $\forall s Q(s)$ 为真 (即任意 s 都满足非功能性需求), 则需求可简化为 $R = \langle F, S \rangle$ 。同时假定 F 使用一阶逻辑公式表示, 即 $F = f^1 \wedge f^2 \wedge f^3 \wedge \dots \wedge f^n$, f 为 F 中的子功能。

设 $R_1 = \langle F_1, S_1 \rangle, R_2 = \langle F_2, S_2 \rangle, R_3 = \langle F_3, S_3 \rangle$, 其中:

$$F_1 = f_1^1 \wedge f_1^2 \wedge f_1^3 \wedge \dots \wedge f_1^n$$

$$F_2 = f_2^1 \wedge f_2^2 \wedge f_2^3 \wedge \dots \wedge f_2^m$$

若 R_3 包含 R_1, R_2 , 则 $F_3 = F_1 \wedge F_2 \wedge F'$ 。其中 F' 表示不包含在 F_1 和 F_2 中的其他功能谓词。图 2 为财务报表打印中单元格格式需求, 其中 r 为 f 对应的需求。

根据定义 2, 显然有 $S_3 \subset S_2, S_3 \subset S_1$ 。由集合 S_3 与 S_1 (或 S_2) 间的关系, 可以得出包含关系 (CT) 具有非自反性、非对称性和传递性的特征。

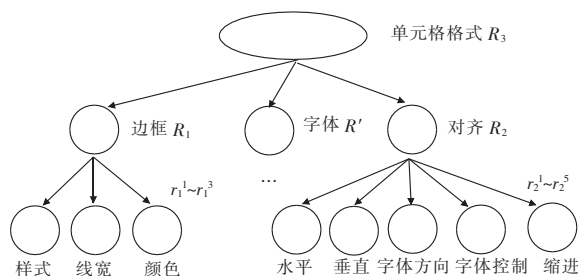


图2 包含关系

2) 精化关系 (RF)

精化关系是包含关系的逆过程。图2包含关系图例中, R_1 、 R_2 和 R' 精化 R_3 。同理, 有 $S_3 \subset S_2$, $S_3 \subset S_1$, 精化关系 (RF) 具有非自反性、非对称性和传递性。

3) 冲突关系 (CF)

冲突关系在非功能性需求中比较常见, 假设 $\forall s F(s)$ 为真 (即任意 s 都满足功能性需求), 则需求可简化为 $R = \langle Q, S \rangle$ 。本文仅考虑完全冲突的情况 (即 $\text{degree} = -1$, 需求间存在非此即彼的关系), 如非功能性需求中的安全性需求加密 (R_1) 与性能需求时间 (R_2) 存在冲突关系。

设 $R_1 = \langle Q_1, S_1 \rangle$, $R_2 = \langle Q_2, S_2 \rangle$, R_1, R_2 冲突可表示为

$$\neg \exists s (Q_1(s) \wedge Q_2(s)), s \in S_1 \wedge s \in S_2$$

即同时满足这两个需求的系统是不存在的。显然, 冲突关系 (CF) 具有对称性。

4) 约束关系 (RT)

因 RT 存在于非功能性需求 (NFR) 和功能性需求 (FR) 之间, 且其为 NFR 的识别及精化提供依据。本文给出一个选择 NFR 的规则: 存在一个或多个受其约束的 FR。设 $R = \langle F, Q, S \rangle$, 则约束关系可表示为

$$\forall q (S(q) \rightarrow \exists f S(f)) \quad q \in Q, f \in F$$

即对所有的 NFR 都至少存在一个 FR 与其具有约束关系。其中, $S(q)$ 为 $q(S)$ 的反函数, 即满足 q 的系统 S 。例如, 打印响应时间非功能性需求是对打印功能性需求的约束。显然, 约束关系 (RT) 具有非对称性和非传递性。

根据上述关系的特征, 可得出需求间的各种推理规则, 限于篇幅, 本文仅给出一个示范规则, 如 $\text{refines}(R_1, R_2) \wedge \text{refines}(R_2, R_3) \rightarrow \text{refines}(R_1, R_3)$ 。

2.2 元需求集

元需求集即元需求的集合, 可以看做是元需求的一种管理方法, 通过对需求的分组和重组, 以便进一步地重用、集成、维护、映射。可根据不同的领域或不同的需求类型 (功能性和非功能性需求) 来构建元需求集。元需求集作为一种知识库, 可指导需求的获取、实现需求的重用及需求分析等功能。

3 本体

本体最早是一个哲学的概念, 从哲学的范畴说, 本体是客观存在的一个系统的解释或说明, 关心的是客观现实的抽象本质^[12]。它用于描述事物的本质, 在近些年作为信息抽象和知识描述的工具被计算机领域所用。

3.1 基于本体的元需求模型的表示

本文对元需求的研究, 是通过精确定义需求的要素及相互关系建立模型, 为需求的推理、共享及重用等提供基础。引入

本体概念, 将元需求模型作为本体, 可充分利用本体作为知识表示机制方面的优势。同时, 软件的开发环境已经从传统的封闭静态环境拓展为开放、动态和多变的互联网环境。因此本文采用一种本体与语义网相结合的 ontology Web language, OWL 来描述元需求模型, 并最终实现元需求的推理、共享及重用等应用。

要实现 OWL 对元需求模型描述, 需要将元需求模型中相关概念对应到 OWL 的概念^[13]中。表1给出元需求模型中的要素与 OWL 中概念的对应关系。要素 R 等用 OWL 中的 class (类) 表示, 关系 RS 等用 OWL 中的属性 (具体来说是对象属性) 表示。其中 rdfs 前缀表示沿用的 RDF (resource description framework, 资源描述框架) 中的构词, 其他前缀含义类似, 详见文献^[13]。

表1 MRM 要素与 OWL 构词对应关系

MRM 要素	OWL 构词
R, SH, AD, TC, GS	class
RS, RF, CF, CT	rdf:property
T	rdfs:subclass

除上述的对应关系外元需求要素中的关系的特征与 OWL 属性的特征也存在对应关系, 如表2所示。

表2 MRM 关系特征与 OWL 中属性特征对应关系

MRM 关系特征	OWL 中属性特征
对称性	symmetricProperty
传递性	transitiveProperty

OWL 中的其他一些概念在元需求的表示中也有用到。例如, 枚举 `owl:oneOf` 用于权重、状态及类型的定义; 逆反 `owl:inverseOf` 在关系 `used` 和 `uses` 中存在; 函数 `owl:functionalProperty` 用于 ID 的定义。

OWL 具有很强的语义推理能力, 如文献^[14]将 OWL 的语义推理功能运用到了作战计划验证中。因此 2.1 节提到的元需求间的推理规则可用 SWRL 表示, SWRL 是 OWL Lite、OWL DL 和 Rule ML 的结合。这些规则在 Protégé 工具中可自动推导, 在此不作详细的描述。

3.2 基于 Protégé 的元需求集构建

Protégé 工具是由斯坦福大学开发的基于 Java 语言的开源本体编辑工具, 用来帮助本体开发人员和领域专家对领域知识进行建模, 使构建本体知识库的过程易于操作和管理。在前文中提到将元需求模型可看成本体, 所以本体的构建工具可用于元需求集的构建。

为构建元需求集, 本文采用逆向工程的方法。a) 从多个已有的成功软件项目中提取需求; b) 依照元需求模型对这些需求进行整合; c) 在 Protégé 工具构建元需求集。此过程是一个循环往复、迭代和增量的过程。同时, 在实际使用中也不断修正已得到的元需求集。

下面介绍元需求集构建的具体流程:

- 确定元需求的领域和应用范围 (即项目的范围), 并收集相关的需求资料 (一般为软件需求规格说明书);
- 确定元需求的分类 (可采用 [IEEE1998] 的分类方法);
- 列出元需求中的重要术语 (也可以在后面的步骤中逐渐添加);
- 定义类和类的层次结构 (因采用 OWL 描述, 这里的类包括 R, SH, GS, AD, TC, T);
- 定义类的属性 (即各种关系及数值属性);

f) 创建实例(即实际的元需求),得到元需求集。

其中步骤 d) ~ f) 在 Protégé 工具中操作。Protégé 工具提供 OWL 等多种语言描述;提供多种解析接口(如 Jena API),可通过解析运用到不同的平台上;能对实例(元需求)进行查询,并可将查询结果导入到外部数据库中。最重要的是,此工具还提供需求间关系的推理、冲突的自动检测等功能。这些功能为基于元需求的获取与分析提供理论和技术基础。

4 实现

4.1 需求获取

图3表示基于元需求的需求获取过程。

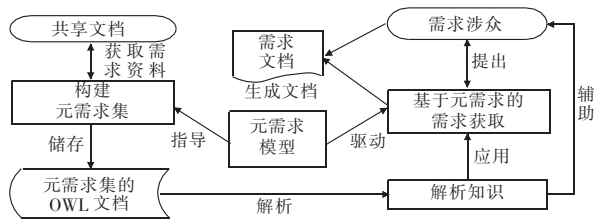


图3 基于元需求的需求获取过程

a) 图中的左半部分为相关领域内元需求集构建过程,在3.2节中已详细介绍。

b) 解析基于 OWL 的元需求集文档,获取能辅助需求获取的解析知识(推理结果及不同视图查询结果等)。

c) 基于解析知识及元需求模型引导需求涉众提出软件需求,形成需求文档;获得的需求文档可进一步完善元需求集。同样需求文档可表示成一个 OWL 格式的专用元需求集,用于需求的分析。

通过此过程,元需求模型及元需求集可实现需求的获取。

4.2 需求分析

通过对元需求的模型化、形式化及 OWL 的表示可实现需求的各类分析。

冲突均衡,元需求要素中定义了权重(priority),可根据权重均衡需求冲突。基于此权重可采用不同的均衡方法,如文献[10]提出的 FO-QSIG 模型。同时,根据元需求要素的相互联系及需求模型的形式化描述,可支持分析的自动化;基于 OWL 的表示,可复用推理规则及使用 Protégé 等工具自动实现一些元需求分析(如冲突检测)。

5 结束语

需求获取在软件系统开发中起着重要作用,这方面的研究也越来越多,其中元模型法受到了关注。本文通过分析定义了元需求的构成要素及要素间关系;构建元需求模型,并形式化地描述了模型;引入了本体,用 OWL 描述了模型,并基于 Protégé 构建了元需求集。形式化的描述为需求分析及管理等提供了自动化的条件;本体的引入,可将本体的优势整合到元需求研究中;OWL 在网络语言的地位匪浅,这充分解决了网络环境下元需求的应用问题。总之,元需求模型及元需求集可实现需求的获取及分析。但本文的研究只是元需求方法的一个雏形,需要更进一步的研究,尤其是在可信软件需求方面。

参考文献:

[1] 骆斌. 软件工程——软件建模与分析[M]. 北京:高等教育出版

社,2009.

- [2] 罗新星,朱名勋,唐中君. 可信软件需求获取与分析研究综述及展望[J]. 计算机应用研究,2010,27(10):3617-3621.
- [3] THYER R H, DORFMAN M. Software requirements engineering[M]. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1997.
- [4] GORSCHKE T, DAVISA M. Requirements engineering: in search of the dependent variables[J]. Information and Software Technology, 2008, 50(1): 67-75.
- [5] DARDENNE A, Van LAMSEERDE A, FICKAS S. Goal-directed requirements acquisition[J]. Science of Computer Programming, 1993, 20(1-2): 3-50.
- [6] LOPEZ O, LAGUNA M A, GARCIA F J. Metamodeling for requirements reuse[C]//Proc of Workshop em Engenharia de Requisitos. 2002: 76-90.
- [7] BAUDRY B, NEBUT C, Le TRAON Y. Model-driven engineering for requirements analysis[C]//Proc of the 11th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference. [S. l.]: IEEE, 2007: 459-466.
- [8] BROTTIER E, BAUDRY B, Le TRAON Y, et al. Producing a global requirement model from multiple requirement specifications[C]//Proc of the 11th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference. [S. l.]: IEEE, 2007: 390-404.
- [9] TANG Zhong-jun, LIU Shu-qin. The constructing method of meta-requirement analysis model[C]//Proc of the 3rd International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering. 2010: 118-121.
- [10] 罗新星,朱名勋. 可信软件中非功能需求 FO-QSIG 冲突权衡模型[J]. 系统工程, 2010, 28(2): 101-105.
- [11] 孙连山,黄罡,孙艳春,等. 特征模型中非功能需求建模初探[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(z2): 139-145.
- [12] CHANDRASE B, JOSEPHSON J R, BENJAMINS V R. What are ontology, and why do we need them? [J]. IEEE Intelligent Systems, 1999, 14(1): 20-26.
- [13] 李明泉. OWL 规则扩展及其推理的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [14] 刘忠,钱猛,黄金才,等. 基于语义推理的作战计划验证方法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(5): 988-993.

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

下期要目

- ❖ 量子进化算法在生产调度中的应用综述
- ❖ 软件克隆检测技术研究
- ❖ 虚拟机系统安全综述
- ❖ 基于向量相似度的多模型局部建模方法研究
- ❖ 基于图模型的多边形自动并行构建算法
- ❖ 维基百科链接网络实证分析
- ❖ 基于多目标两阶段的跑道起飞调度模型
- ❖ 抗噪的有监督局部保留投影降维算法
- ❖ 基于核自适应的近邻传播聚类算法
- ❖ 基于矩阵分解的单类协同过滤推荐算法
- ❖ 引入欧椋鸟群飞行机制的改进粒子群算法
- ❖ 基于自适应的多类型物流配送改进遗传算法研究
- ❖ 基于文件相似性分簇的重复数据消除模型
- ❖ 层次结构文档下支持权限管理的实时协同技术研究
- ❖ 基于客观赋权法的嵌入式软件可信性评估方法研究
- ❖ 基于多属性群决策服务组合方案选取方法