

基于求精关系的多视点需求工程框架模型^{*}

Framework Model of Multiple Viewpoints Requirements Engineering based on Refinement Relation

何炎祥 黄 谦

(武汉大学计算机科学系/软件工程国家重点实验室 武汉430072)

Abstract Multiple viewpoints requirements engineering is an important trend in the field of requirements engineering. When carrying out requirements analysis for large distributed system, traditional requirements engineering encounters some serious problems. Multiple viewpoints requirements engineering is a more valid method that people find to solve these problems. A framework model of multiple viewpoints requirements engineering based on refinement relation is fully put forward in this paper. It is general, because no assumptions are made about the development process or formal description languages to be used.

Keywords Requirements engineering, Viewpoint, Refinement relation, Specification translation

1 引论

传统需求工程方法应用于大型分布式系统的开发有一个严重问题:需求工程中的每一子过程里只能有一个全局规格。这一点与实际分布式系统的特点很不适应。大规模的分布式系统的开发必然会涉及到许多人员,这些人员由于各自目的和职责不同,因而都会以自己拥有的知识,从不同的角度、不同的地点、使用不同的语言和工具对系统提出不同的需求;而且,所有的子过程只能串行地进行,降低了系统开发的效率。为了更好地支持分布式系统的需求工程,已经开始出现一些新的需求工程方法,多视点需求工程^[1,2]就是其中之一。

多视点需求工程把系统需求划分为多个视点需求。视点既可以是参与者从各自的角度对系统的不同的认识,也可以是按照一定标准对系统的划分;一个视点不仅仅是系统的部分规格,还包括如何求精该部分规格的部分知识^[3]。这样,系统需求就转化为视点需求,降低了需求工程的难度。相比传统需求工程,多视点需求工程允许多个视点规格同时存在;而且,由于视点规格主要是独立地进行求精,从而整个分布式系统的需求工程过程能够以一种更加灵活的方式进行。正因为如此,近年来多视点需求工程逐渐受到人们的重视,已有一些相关的工作,如国际标准化组织制定的开放分布式系统参考模型 RM-ODP^[4],以及面向视点的软件工程 VOSE^[5]的研究,但对于多视点需求工程的理论研究还较少。

目前已有一种基于实现关系的多视点需求工程框架模型^[6,7]以及一些相应的研究工作^[8,9]。该框架模型的基本出发点是区分规格和模型,并利用实现关系来定义规格和模型间的对应关系,因此在大多数情形下显得较为复杂,而且与人们通常的思维习惯不一致。针对上述问题,本文在有关研究^[10,11]的基础上,从求精关系、同一规格语言内的规格关系与规格转换、规格翻译和不同规格语言间的规格关系与规格转换等四个方面全面地提出一种基于求精关系的多视点需求工程框架模型。相比基于实现关系的多视点需求工程框架模型,这一框架模型较为简单,符合人们的思维习惯,在大多数情形下能够满足多视点需求工程的需要^[12]。应注意的是,这

一框架模型并没有涉及具体的需求工程过程和形式描述语言,是多视点需求工程的一般通用模型。具体的模型和应用实例请参考有关文献^[13]。限于篇幅,本文略去全部定理的证明,具体证明可参考有关文献^[14]。

2 框架模型

2.1 求精关系

在多视点需求工程中,可以存在多种规格语言。对于每一种规格语言,可以定义一种或多种求精关系。其它规格关系与规格转换均依赖于求精关系。

定义1 求精关系:求精关系 $\leq \subseteq L \times L$ 是定义在规格语言 L 上的二元偏序(自反的和传递的)关系。

不同的规格语言有不同的求精关系。同一规格语言在不同的需求环境和目标下,也可以有不同的求精关系。在多视点需求工程中,几个视点的规格语言可能是同一种规格语言,但它们可以使用不同的求精关系。

定义2 求精集:设 $d \in L$, \leq 是 L 的一个求精关系,则 d 在 \leq 下的求精集定义为

$$[d]_{\leq}^{\text{def}} = \{d' \in L \mid d' \leq d\}.$$

一个规格的求精集是对该规格进行求精可能得到的规格的集合。一般来说,同一规格在不同的求精关系下有不同的求精集。因此,在多视点需求工程中,规格是特定求精关系下的规格,规格语言也是特定求精关系下的规格语言。在不产生歧义的条件下,常常略去求精关系,只给出规格和规格语言。

求精关系等价于求精集的子集关系。

定理1 $d_1 \leq d_2 \iff [d_1]_{\leq} \subseteq [d_2]_{\leq}$ 。

因此,可以用求精关系和求精集两种方式来研究规格关系与规格转换。

定义3 求精幂集:求精幂集 L/\leq 定义为

$$L/\leq^{\text{def}} = \{[d]_{\leq} \mid d \in L\}.$$

定义4 公共求精:规格 d 是规格集 S 的公共求精,如果满足

$$\square d' \in S \cdot d \leq d'.$$

定义5 最大公共求精:公共求精 d 是最大公共求精,如

^{*} 国家教育部重点项目资助,武汉大学自强科技创新基金资助。何炎祥 教授,博士生导师,研究方向为并行分布处理,知识信息处理。黄谦 硕士生,研究方向为分布并行处理。

果满足

$$\square d'' \in L \cdot (\square d' \in S \cdot d'' \leq d') \rightarrow d'' \leq d.$$

定理2 (1) d 是规格集 S 的公共求精 $\square [d]_{\leq} \subseteq \bigcap_{d' \in S} [d']_{\leq}$;

(2) d 是规格集 S 的最大公共求精 $\square [d]_{\leq} = \bigcap_{d' \in S} [d']_{\leq}$.

2.2 同一规格语言内的规格关系与规格转换

2.2.1 规格等价

定义6 规格等价: 规格等价 \equiv 是定义在 L 上的二元关系, 即 $\equiv \subseteq L \times L$, 满足

$$d_1 \equiv d_2 \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} d_1 \leq d_2 \wedge d_2 \leq d_1.$$

根据定义可以得出规格等价确实是等价关系。

定理3 \equiv 是等价(自反的、对称的和传递的)关系。

定义7 等价集: 设 $d \in L$, 则 d 在等价关系 \equiv 下的等价集定义为

$$[d]_{\equiv} \stackrel{\text{def}}{=} \{d' \in L \mid d' \equiv d\}.$$

定理4 $d_1 \equiv d_2 \Leftrightarrow [d_1]_{\leq} = [d_2]_{\leq} \Leftrightarrow [d_1]_{\equiv} = [d_2]_{\equiv}$.

定义8 等价幕集(等价划分): 等价幕集 L/\equiv 定义为

$$L/\equiv \stackrel{\text{def}}{=} \{[d]_{\equiv} \mid d \in L\}.$$

构造求精幕集到等价幕集的函数 $F: L/\leq \rightarrow L/\equiv$ 如下

$$F([d]_{\leq}) = [d]_{\equiv}.$$

定理5 F 是双射函数。

2.2.2 规格相容

定义9 规格相容: 规格相容 C 是定义在 L 上的二元关系, 即 $C \subseteq L \times L$, 满足

$$d_1 C d_2 \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} \exists d \in L \cdot d \leq d_1 \wedge d \leq d_2.$$

定理6 C 是自反的和对称的, 但不是传递的。

定理7 如果两个规格存在公共求精, 那么它们是相容的, 反之也成立。

定理8 $d_1 C d_2 \Leftrightarrow [d_1]_{\leq} \cap [d_2]_{\leq} \neq \emptyset$.

2.2.3 规格求精

定义10 求精转换: 求精转换是一个函数 $R: L \rightarrow L$, 满足

$$\square d \in L \cdot R(d) \leq d.$$

2.2.4 规格集成

这里只给出二元集成的定义, 多元集成的定义类似。

定义11 集成转换: 集成转换是一个函数 $U: L \times L \rightarrow L$, 满足

$$\square d_1, d_2 \in L \cdot U(d_1, d_2) \leq d_1 \wedge U(d_1, d_2) \leq d_2.$$

定义12 最大集成转换: 集成转换函数 U 是一个最大集成转换函数, 如果满足

$$\square d \in L \cdot d \leq d_1 \wedge d \leq d_2 \rightarrow d \leq U(d_1, d_2).$$

定理9 集成转换的结果是原有规格的公共求精, 最大集成转换的结果是原有规格的最大公共求精。

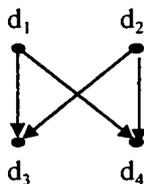


图1 最大集成不存在

如果 $d_1 C d_2$, 它们的集成存在, 但它们的最大集成可能不存在. 如图1所示, 设 $L = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$, $\leq = \{(d_3, d_1),$

$\langle d_4, d_1 \rangle, \langle d_3, d_2 \rangle, \langle d_4, d_2 \rangle\}$, d_3 或 d_4 是 d_1 和 d_2 的集成, 但 d_1 和 d_2 的最大集成并不存在。

当二元最大集成存在时, 多元集成可转化为多次二元最大集成, 且集成结果也为最大集成. 图2是三个规格的集成。

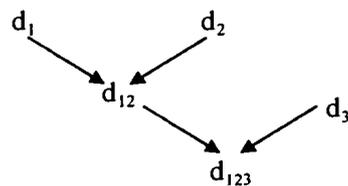


图2 三个规格的集成

2.3 规格翻译

在处理多种规格语言下的规格关系和规格转换时, 或者是处理同一规格语言在不同求精关系下的规格关系和规格转换时, 首先要定义翻译函数以进行规格间的转换。

定义13 一般翻译: 一般翻译是一个函数 $T: L_1 \rightarrow L_2$, 满足

$$\square d_1, d_2 \in L_1 \cdot d_2 \leq_1 d_1 \rightarrow T(d_2) \leq_2 T(d_1).$$

定理10 如果 T 是一个一般翻译函数, 则

$$d_1 \equiv_1 d_2 \Rightarrow T(d_1) \equiv_2 T(d_2).$$

在一个多视点需求工程中, 从形式上说两个规格语言间常常存在多个翻译函数, 具体选择哪一个则依赖于具体的规格语言语义。

多个规格语言间的翻译函数应保持一致性, 即: 若 $T_{12}: L_1 \rightarrow L_2$, $T_{23}: L_2 \rightarrow L_3$ 和 $T_{13}: L_1 \rightarrow L_3$ 均为翻译函数, 则 $T_{23} \circ T_{12} = T_{13}$ 。

可以根据一般翻译函数 T 构造求精幕集上的转换函数 $T_{\leq}: L_1/\leq_1 \rightarrow L_2/\leq_2$ 如下

$$T([d]_{\leq_1}) = [T(d)]_{\leq_2}.$$

还可构造等价幕集上的转换函数 $T_{\equiv}: L_1/\equiv_1 \rightarrow L_2/\equiv_2$ 如下

$$T([d]_{\equiv_1}) = [T(d)]_{\equiv_2}.$$

定理11 T_{\leq} 和 T_{\equiv} 均是函数。

定义14 等价翻译: 一般翻译函数 T 是一个等价翻译函数, 如果满足

$$\square d_1 \in L_1, d' \leq_2 T(d_1) \cdot \square d_2 \in L_1 \cdot T(d_2) \equiv_2 d';$$

$$\square d_1, d_2 \in L_1, d' \leq_2 T(d_1) \cdot (T(d_2) \equiv_2 d' \rightarrow d_2 \leq_1 d_1).$$

定理12 如果 $T: L_1 \rightarrow L_2$ 是一个等价翻译函数, 则

$$(1) \square d_1, d_2 \in L_1 \cdot \square (d_1 \equiv_1 d_2) \rightarrow \square (T(d_1) \equiv_2 T(d_2));$$

$$(2) [T(d)]_{\leq_2} = \{T(d') \mid d' \in [d]_{\leq_1}\}.$$

定理13 如果 T 是一个等价翻译函数, 则 T_{\leq} 和 T_{\equiv} 均是单射函数。

T_{\leq} 是单射函数的意义在于: 规格语言 L_1 的任意一个规格的求精集均恰好转换为规格语言 L_2 的一个规格的求精集, 且不等价的规格的转换结果不同; 从直观上来说, 规格语言 L_2 具有较强的表达能力. 下面给出规格语言表达能力相对强弱的定义。

定义15 如果规格语言 L_1 和 L_2 之间存在一个映射关系 $T: L_1 \rightarrow L_2$, 满足

$$\square d_1 \in L_1 \cdot \square d_2 \in L_2 \cdot ((\square d \in [d_1]_{\leq_1} \cdot \square d' \in [d_2]_{\leq_2} \cdot T(d) \equiv_2 d') \square$$

$$(\square d' \in [d_2]_{\leq_2} \cdot \square d \in [d_1]_{\leq_1} \cdot T(d) \equiv_2 d')),$$

则称规格语言 L_2 能够表达 L_1 . 如果同时 L_1 也能表达 L_2 , 则称

L_1 和 L_2 具有等价表达能力。

定理14 下面命题等价

- (1) L_2 能够表达 L_1 ;
- (2)从 L_1 到 L_2 存在一个等价翻译函数;
- (3)从 L_1/\leq_1 到 L_2/\leq_2 存在一个单射函数;
- (4)从 L_1 到 L_2 存在一个翻译函数 T ,且 T_{\leq} 是单射函数。

定义16 双射翻译:等价翻译函数 T 是一个双射翻译函数,如果满足

$$\square d' \in L_2 \cdot \square d \in L_1 \cdot T(d) \equiv_2 d'$$

定理15 下述命题等价:

- (1) $T: L_1 \rightarrow L_2$ 是一个双射翻译函数;
- (2)从 L_2 到 L_1 存在一个双射翻译函数;
- (3) L_1 和 L_2 具有等价表达能力;
- (4) T_{\leq} 是一个双射函数。

在上述三种翻译函数中,一般翻译函数和等价翻译函数是单向的,即从 L_1 到 L_2 存在一个一般翻译函数或等价翻译函数并不能导出从 L_2 到 L_1 存在一个一般翻译函数或等价翻译函数,而双射翻译函数则是双向的。

值得指出的是,无论是哪一种翻译,都包括规格的转换和该规格的求精知识(求精关系)的转换,二者是统一的,缺一不可;因此,文[11]中的翻译技术是不正确的,因为它只有规格的转换,而没有求精关系的转换。

2.4 不同规格语言间的规格关系与规格转换

在处理多种规格语言间的规格关系和规格转换时,或者是处理同一规格语言在不同求精关系下的规格关系和规格转换时,一种方法是把表达能力弱的规格语言的规格通过等价翻译函数转换为表达能力强的规格语言的规格,另一种方法是寻找一种表达能力最强的规格语言(即能表达所有其它规格语言的规格语言),把其它规格语言的规格通过等价翻译函数转换成这一规格语言的规格,然后只需处理同一规格语言的规格关系和规格转换。由此可见,在多视点需求工程中,并不需要所有的规格语言都具有等价的表达能力,这一点与实际情形相符^[13]。

为简便起见,下面只给出使用前一种方法——即把一种规格语言的规格等价翻译成另一种规格语言的规格——来扩充有关规格关系和规格转换的定义,使用另一种方法的定义类似。假设 $d_1 \in L_1, d_2 \in L_2, T: L_1 \rightarrow L_2$ 是等价翻译函数。

定义17 规格等价:

$$d_1 \equiv_2 d_2 \stackrel{\text{def}}{\iff} T(d_1) \equiv_2 d_2$$

定义18 规格相容:

$$d_1 C_2 d_2 \stackrel{\text{def}}{\iff} T(d_1) C_2 d_2$$

定义19 集成转换:集成转换是一个函数 $U: L_1 \times L_2 \rightarrow L_2$,如果

$$\square d_1 \in L_1, d_2 \in L_2 \cdot U(d_1, d_2) \leq_2 T(d_1) \square U(d_1, d_2) \leq_2 d_2$$

定义20 最大集成转换:集成转换 U 是一个最大集成转换,如果

$$\square d \in L_2 \cdot d \leq_2 T(d_1) \wedge d \leq_2 d_2 \rightarrow d \leq_2 U(d_1, d_2)$$

在上述相容关系和集成转换的扩充定义中,如果用一般翻译函数代替等价翻译函数,则定义是不完备的。

对于相容关系,如果 T 是一般翻译函数,则

$$d_1 C_2 d_2 \Leftarrow T(d_1) C_2 d_2$$

对于集成转换,如果 T 是一般翻译函数,则

$$U \text{ 是集成转换函数} \Leftarrow \square d_1 \in L_1, d_2 \in L_2 \cdot U(d_1, d_2) \leq_2 T(d_1) \square U(d_1, d_2) \leq_2 d_2$$

总结 本文全面地提出一种基于求精关系的多视点需求工程框架模型。该框架模型包括求精关系、同一规格语言内的规格关系与规格转换、规格翻译和不同规格语言间的规格关系与规格转换四个方面。其中,求精关系是基础,其它规格关系与规格转换均依赖于求精关系,规格翻译则可以把不同规格语言间的规格关系与规格转换转化为同一规格语言内的规格关系与规格转换。该框架模型没有涉及具体的需求工程过程和形式描述语言,是一般通用模型。我们下一步的工作则是在本文研究的基础上,提出一种基于求精关系的多视点需求工程具体模型,并将其应用于实际的分布式系统需求工程中。

参考文献

- 1 何炎祥,等. 基于多视点的需求工程方法. 计算机科学, 2000, 27(2): 64~68
- 2 何炎祥,等. 视频点播系统的开放式分布处理视点. 计算机科学, 2000, 27(4): 82~84
- 3 Steen M W A. Consistency and composition of process specifications. [PhD thesis]. The Subject of Computer Science, The University of Kent at Canterbury, 1998
- 4 ISO/IEC JTC1/SC21/WG7. Basic Reference Model of Open Distributed Processing. ISO 10746, 1993. Parts 1~4
- 5 Spanoudakis G, Finkelstein A, Emmerich W. Viewpoints 96: International workshop on multiple perspectives in software development (SIGSOFT 96). ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 1997, 22(1): 39~41
- 6 Bowman H, et al. A formal framework for viewpoint consistency: [Computing Laboratory Technical Report 22-99]. University of Kent at Canterbury, United Kingdom, Dec. 1999
- 7 何炎祥,等. 多视点需求工程的模型研究. 计算机科学, 2001, 28(2)
- 8 何炎祥,等. 基于状态转换系统的Z规格的STS语义模型. [武汉大学软件工程国家重点实验室技术报告]. 武汉大学, 2000
- 9 何炎祥,等. 基于STS语义模型的Z规格的平衡集成. [武汉大学软件工程国家重点实验室技术报告]. 武汉大学, 2000
- 10 Boiten E A, et al. Viewpoint consistency in ODP. Computer Networks, 2000, 34(3): 503~537
- 11 Derrick J, et al. Viewpoints and consistency: translating LOTOS to Object-Z. Computer Standards and Interfaces, 1999, 21: 251~272
- 12 Qiang S, et al. Two generic frameworks of multiple viewpoints oriented requirements methods and their comparison. [State Key Laboratory of Software Engineering Technical Report]. Wuhan University, P. R. China, 2000
- 13 何炎祥,等. 从LOTOS规格到Z规格. [武汉大学软件工程国家重点实验室技术报告]. 武汉大学, 2000
- 14 何炎祥,等. 分布式多视点需求工程模型研究. [武汉大学软件工程国家重点实验室技术报告]. 武汉大学, 2000

(上接第68页)

- 2 Meng J, Chang S-F. Embedding Visible Video Watermarks in the Compressed Domain. 1998, IEEE
- 3 李华,等. 基于视觉特性和小波分解的数字水印隐藏方法. 通信学报, 2000, 21(6)
- 4 韦志辉,等. 基于小波域中视觉门限模型的数字水印技术. 东南大学学报, 1998, 28(5)
- 5 孟兵,等. 基于小波变换的静态图像数字水印算法. 计算机辅助设

计与图形学学报, 2000, 12(10)

- 6 夏良正. 数字图像处理. 东南大学出版社, 1999. 43~81
- 7 陈桂明,等. 应用Matlab语言处理数字信号与数字图像. 科学出版社, 2000. 273~307
- 8 清源计算机工作室. Matlab高级应用—图形及影像处理. 机械工业出版社, 2000. 252~288
- 9 胡昌华,等. 基于Matlab的系统分析与设计—小波分析. 西安电大出版社, 1999. 1~23, 203~264