

可信软件需求获取与分析研究综述及展望 *

罗新星, 朱名勋, 唐中君

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘 要: 需求获取与分析是可信软件领域的研究热点,近年来得到了广泛的关注和快速的发展。首先分析了中小型软件系统中需求获取方法与分析方法的国内外研究现状,接着对新近出现的可信软件中需求获取与分析方法进行了分析和综述;最后对需求获取与分析方法的研究动态进行了总结与展望。

关键词: 需求获取; 需求分析; 可信软件; 元需求

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)10-3617-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.10.004

Literature review on trustworthy software acquisition and analysis

LUO Xin-xing, ZHU Ming-xun, TANG Zhong-jun

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In recent years, there have been extensive studies and rapid progresses in requirement acquisition and analysis (RAA), which is one of the hotspots in trustworthy software filed. This paper analyzed the research present situation of domestic and foreign RAA method firstly, then in particular, analyzed the requirement acquisition and analysis method which was suit for trustworthy software. Finally, gave out methods summary and outlook for RAA.

Key words: requirement acquisition; requirement analysis; trustworthy software; meta requirement

0 引言

近几年,发达国家的政府组织、跨国公司、大型科研机构逐步认识到可信软件研究的巨大价值和应用前景。美国《国家软件发展战略(2006—2015)》将开发高可信软件放在首位。美国政府的“网络与信息技术研究发展计划(NITRD)”的八个重点领域中有四个与可信软件密切相关。NITRD 在高可信软件与系统领域 2006 年投入约 1.34 亿美元,在 2007 年投入预算 1.45 亿美元。在中国,国家自然科学基金委员会 2007 年底启动“可信软件基础研究”重大研究计划,周期 6 年,计划经费 1.5 亿元^[1]。

陈火旺等人^[2]较早地研究了软件的可信性,认为可信应该包括可靠性(reliability)、可靠安全性(safety)、保密安全性(security)、生存性(survivability);覃志东^[3]则认为可用性、防危性、可维护性也是可信属性的子属性。尽管可信性尚未形成共识,且诸多领域存在差异,但一般认为可信是指一个实体在实现既定目标的过程中,行为及结果可以预期,它强调目标与实现相符,强调行为和结果的可预测性和可控制性^[1]。软件的可信是指软件系统的动态行为及其结果总是符合人们的预期,在受到干扰时仍能提供连续的服务。这里的干扰包括操作错误、环境影响、外部攻击等。

典型的可信软件有航空航天、金融、军事等领域的信息系统。由于可信软件所涉组织和人员越来越多,需求越来越复杂,要满足的需求项也越来越多、越来越复杂,参与人员处于动

态分散状态的情形,需求获取与分析(requirement acquisition and analysis, RAA)变得越来越困难,一方面使得 RAA 成为需求管理的核心,另一方面也使需求管理面临前所未有的挑战。许多实证研究都证明了这点,例如,Sheldon 等人^[4]对美国空军信息系统项目的调查结果表明,需求错误是引起软件失败的最主要原因。在所有错误中,需求错误占 41%,排第一,而排第二的逻辑设计错误只占 28%。目前,越来越多的方法,如本体理论、形式化方法、数据挖掘技术和其他的新技术被应用到 RAA 领域中。当前对需求获取方法及其分析技术已有大量的研究,因此有必要对当前的研究现状进行深入分析。

1 中小型系统 RAA 研究现状

1.1 需求获取方法研究现状

需求获取方法可分为物理法和模型法。物理法是指系统分析员与系统所涉各方之间的信息交流方法。Gottesdiener^[5]提出并详述了获取需求的专题讨论会方法;Robinson 等人^[6]提出了一种参与各方在软件全生命周期内的谈判交流方法;Robertsons 等人^[7]提出了获取需求的过程与活动,并详述了每一项活动的输入和输出以及需要的技术。这些方法都是针对传统的封闭静态软件开发环境提出的,较难适用于开放、动态、多变和人员分散的互联网环境,难以有效地应用于可信软件的需求获取。

模型法是运用有关模型,从而促进系统分析员与系统所涉各方之间信息交流的方法。模型法主要有下述三类:

收稿日期: 2010-03-21; **修回日期:** 2010-04-29 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(90818014);国家自然科学基金委创新群体资助项目(70921001/G0104);中南大学博士研究生创新基金资助项目(071601023)

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);朱名勋(1975-),男,湖南衡阳人,博士,主要研究方向为可信软件;唐中君(1969-),男,湖南武冈人,副教授,博士。

a) 基于情景实例 (scenario-based) 的方法。该方法希望用系统所涉各方熟悉的情景实例引导各方逐步提供需求信息。例如, Holbrook^[8]提出了一个使用情景实例获取需求的模型; Hsia 等人^[9]提出了一种通过情景实例获取需求的形式化描述方法。该类方法的情景实例是随机采集的, 难以保证所用的一组情景实例能够覆盖整个现实系统并产生完整的需求信息, 对于规模大并且复杂的可信软件更加难以保证。因此, 这类方法难以有效地应用于可信软件的需求获取。

b) 基于知识的方法。该方法试图运用软件开发者积累的经验和分析结果, 帮助软件开发者理解和定义新的需求。典型的研究有 Sutcliffe 等人^[10]提出的基于类比推理的领域重用模型和金芝^[11]提出的基于本体的需求自动获取模型。基于本体的需求自动获取模型用企业本体和领域本体为基本线索, 引导领域用户全面描述现实系统, 并通过重用领域需求模型, 构造应用软件需求模型。这种方法要求全面描述现实系统, 再重用需要开发的软件系统。对于规模大并且复杂的可信软件而言, 一方面全面描述现实系统难度大, 另一方面, 即使能够全面描述现实系统, 由于同一领域的不同现实系统间的差异性, 也使得重用的准确性难以得到保障。因而, 这类方法将难以有效地应用于可信软件的需求获取。

c) 综合模型法。Sutcliffe 等人^[12]提出了一种将情景实例法、原型法和理性设计融为一体的综合模型法。Dean 等人^[13]采取以模型为中心的观点, 提出了一种合作性的需求获取与评价的过程模型, 该模型以原型法为主体, 将活动、数据和情景等模型融入原型法, 利用原型法、活动、数据和情景等模型的优点快速获取需求。上述综合模型的共同特点是运用原型法的优点, 快速获取需求。然而原型法主要适用于中小型系统的需求获取, 难以适用于大型系统, 特别是难以适用于大型并且复杂的系统。因而, 这些方法也难以有效地应用于可信软件的需求获取。

1.2 需求分析方法研究现状

需求分析方法包括需求目标冲突分析方法、需求理解和描述的不一致分析方法。

软件开发涉及多个组织和人员, 各方目标之间容易存在隐含的相互影响和冲突, 使得各方目标难以同时实现, 因而容易产生需求目标冲突问题。为了发现和解决目标冲突问题, Nuseibeh 等人^[14]提出了一种冲突目标平衡方法; Boehm 等人^[15]提出了一种基于模型的系统框架与软件工程方法 MBASE, 该方法提出了四类目标模型, 并给出了基于经验的目标之间的关系。这些研究只提出了冲突发现和解决的抽象框架, 缺乏具体的目标冲突分析方法, 也没有解释目标之间相互影响机制的方法。因而这些方法难以有效发现目标之间的冲突, 难以有效地应用于可信软件的需求目标冲突分析。为了避免这些局限性, 王继 等人^[16]提出了一个三维需求模型 TRISO-RM。该模型用一组相互依赖的制品 (软件)、活动和参与者三要素描述参与各方的不同目标。运用该模型可以分析目标冲突发生的机理, 可以给出发现和解决目标冲突的过程, 但是该模型的运用效率、准确性和完整性有待提高。由于可信软件规模大并且复杂、参与方多, 在需求目标冲突分析方面要求效率高; 此外可信软件要求具备高度的准确性, 因而可信软件要求需求目标冲突分析方法应具备高准确性和完整性的特点。因此, TRISO-RM 方法难以有效地应用于可信软件需求的目标冲突分析。

需求理解和描述的不一致分析方法可以分为两类: a) 需求规格说明标准法。这种方法要求在制定、检查和复核软件需求规格说明书时, 要依据一定的标准制定、检查和复核。由 Dorfman 等人^[17]的研究可知, 这样的标准很多, 他们就汇总了 26 种这样的标准, 如 IEEE、ANSI、NASA 和美国军方的标准。其中使用最为广泛的是 IEEE 830—1993 标准。虽然这样的标准很多, 但是从可获得文献还没有发现专门针对可信软件的特点适用于可信软件的标准。b) 模型法。该方法通过某种需求的形式化描述方法, 试图通过软件自动实现需求的不一致性分析。依据描述方法的不同, 模型法可以分为多种方法。Finkelstein 等人^[18]和 Nuseibeh 等人^[19]提出了一类基于经典逻辑的方法。该类方法将需求描述为经典逻辑断言, 采用定理证明技术检验需求的不一致。Hunter 等人^[20]提出了一类基于带标记的准经典逻辑的方法。该类方法将需求描述为带标记的准经典逻辑断言, 也采用定理证明技术检验需求的不一致。Lamsweerde 等人^[21,22]提出了一类基于目标的方法。该类方法将需求描述为系统的目标分解树, 用启发式规则检验需求的不一致。Holzmann^[23]和 Heitmeyer 等人^[24]提出了一类基于状态变迁的方法。该类方法将需求描述为状态变迁系统, 如果系统状态变迁之间存在冲突, 则表明出现需求不一致。Glinz^[25]提出了一类基于图形表示的方法。该类方法用关联图的形式描述需求, 通过寻找图形间交叉引用的不一致进行需求不一致的检测和定位。朱雪峰等人^[26]系统地分析了需求不一致分析方法的代表性研究, 分析结果表明上述不同类型的的不同分析方法各自具有优缺点, 都需要加以改善。

1.3 一般性的软件需求管理方法

1) 传统的基于过程的软件需求管理方法

基于过程的软件需求管理方法主要有能力成熟度模型 (CMM) 和 ISO 9000 系列, 以及将两者集成的方法。

基于全面质量管理的思想, 美国国防部出资的软件工程所于 1986 年开始研究软件开发过程成熟框架, 并于 1991 年和 1994 年分别提出 CMM 的 1.0 版和 1.1 版。需求管理是 CMM 1.1 版 2 级的一项主要内容, 该级定义了包括评审分配需求、分配需求变更控制、分配需求变更评审等需求管理活动和流程, 以及需求管理时的组织要求^[27]。

ISO 9000 是一系列质量管理和质量保证的国际标准。其中 ISO 9001 是软件开发维护的标准。虽然 ISO 9001 没有明确提出需求管理的概念, 但是 ISO 9000 特别强调需求管理。ISO 9000 第 7.2 节隐藏了对需求管理的要求, 包括对产品需求的确定过程、评审过程以及与客户的过程都有明确的规定。ISO 9001 第 4.3 节通过对合同评审的要求也提出了对需求管理的要求, 包括对组织和需求管理过程的要求。雷辉等人^[28]通过分析 CMM 和 ISO 9000 的优缺点, 提出了一种基于 ISO 9001 和 CMM 的软件需求管理方法。

上述基于过程的软件需求管理方法的核心观点是, 试图通过有效地控制软件开发过程从而控制软件质量, 实现软件开发目标。然而最新研究^[29]表明, 基于过程的软件需求管理方法将开发人员的主要精力放在过程的改善, 而对软件本身的关心较少甚至没有关心; 这种将精力集中于过程而不是软件本身的方法使软件开发项目获益, 使开发组织和人员受益, 而不是使开发项目的产品即所开发的软件受益。因此, Gorschek 等人^[30]提出应该将研究重点放在使软件开发人员将其主要精力

集中于产品本身的需求获取和分析方法,应该从产品或需求本身出发研究需求获取和分析方法。

2) 元模型或元模拟法

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。Navarro 等人^[31]提出了一种元模拟法,并重点研究了需求的可度量性和元模拟法的适用性,而且提出了运用元模拟法获得一致性需求的基本规则和扩展机理。但是,Navarro 等人没有研究元模拟法的形式化描述,并且在扩展方法的研究上也非常有限。

虽然元模型或元模拟法是近几年才提出来的方法,但是该方法已经得到了实际应用。Saló 等人^[32]的研究表明,诺基亚公司利用元模型和元模拟法开发了一套用于新产品开发的需求管理信息系统。除了实际开发外,Saló 等人的研究还取得了两项理论成果:创建了一系列元需求;提出了一种基于元需求的需求管理信息系统的需求获取方法。虽然 Saló 等人的研究取得了实际应用和两项理论成果,但是也存在一定局限性。一方面 Saló 他们提出的元需求是针对诺基亚公司的新产品开发而言的,具有特殊性,不具备普遍性,因而存在适用范围上的局限性;另一方面,新产品开发的需求管理信息系统在规模上和复杂程度上还远不如可信软件的规模和复杂程度。

元模型或元模拟法除了在信息系统开发领域的需求管理有研究外,在其他领域的需求信息管理也有类似研究。例如在机械类新产品的开发方面,谭建荣等人^[33]提出了适合广义需求信息描述的需求信息元方法。运用该方法可以提高机械类新产品的需求信息表达的规范性和可重用性,有利于需求信息的获取与分析。

除了上述两类方法外,近年也有其他新方法提出。例如李晓明等人^[34]运用知识流和耗散结构理论分析探讨了软件需求管理的内涵和过程,提出了需求管理的本质,并给出了基于知识管理理论的软件需求管理对策。但是这些研究都还不够充分,也没有应用研究。

1.4 需求管理辅助软件工具

实业界已经开发出了多种工具,其中代表性的有 RequisitePro、CaliberRm 和 RMS^[35],分别由 IBM Rational、Borland 和微创公司开发。这些工具要么以数据库为核心,要么以文档为核心,实现的主要功能是需求存储和查询,在辅助需求获取和分析方面的功能非常有限,存在局限性。就可信软件而言,需求项多而且复杂,开发时所涉人员多而分散,相对于需求存储和查询,需求获取和分析要复杂得多。因此,有必要开发能够实现辅助可信软件需求获取和分析的需求管理辅助软件工具。

毛明志等人^[36]提出了基于特性的软件需求管理工具的设计思想,并设计了工具的架构、功能和界面,但是缺乏深入的理论分析;雷辉等人^[28]提出了基于 ISO 9001 和 CMM 的软件需求管理平台框架;甘早斌等人^[37]提出了基于 Web 的软件需求管理系统。但是这些研究还只是停留在理论研究,没有开发出实际工具。

总之,由上述针对中小型信息系统的四方面研究可知:a)需求获取和分析方法主要有模型法,有关模型法的研究已比较充分,但是这些方法都是针对中小型系统提出的,难以有效地应用于可信软件的需求获取和分析。b)基于过程的软件需求管理方法以过程为研究对象,以过程改善为重点,是使软件开

发项目获益的方法,而对软件本身或需求的关心很少。相反,元需求和元模拟法以需求或软件本身为研究对象,是使软件产品直接受益的方法,值得进一步研究和推广。虽然元需求和元模拟法是近年提出的,在理论上还很不成熟,但是已经在中小型系统的开发中得到了实际应用,并且在其他领域也有研究。c)已经开发的需求管理辅助软件工具的功能主要集中于需求存储和查询,在辅助需求获取和分析方面非常有限。

2 可信软件 RAA 研究现状

刘克等人^[1]针对国内外正在紧密实施的可信软件重大研究项目分别从可信软件的研究现状、科研目标、核心科学问题以及预期的成果进行了综述。虽然现在明确研究可信软件 RAA 方法的文献非常有限,但是可信软件的特点之一是规模大,而有关大型系统 RAA 的研究相对较多,并且这些研究有可能对可信软件的研究有益。

De Leon 等人^[38]从可信软件的需求双向可跟踪性间接地研究了可信软件的 RAA 方法,提出了一个可有效实施需求双向可跟踪性的形式化框架。他们认为,由于可信软件的规模大,软件各组成之间的依赖关系复杂,使得可信软件容易出现涌现性,从而需求研究可信软件的需求双向可跟踪性,并将软件本身作为研究对象,将软件划分为相互联系的元块(implementation meta-work product),通过对元块的形式化描述和元块之间关系的追踪实现需求的双向可跟踪性。

针对高安全性大型分散系统,Reznik 等人^[39]认为很难用手工方式定义安全策略,需要借助适当的信息平台自动产生有关的安全需求和策略。为此,他们提出了一种基于模型驱动的开发技术和平台,并将开发技术和平台在航空运输管理领域进行了应用研究。然而,Reznik 等人并没有详述所用的模型。

针对大型软件,Chan 等人^[40]提出了一种需求不一致分析的模型检测方法。但是与可信软件相比,Chan 等人所针对的大型软件在高精确性、可靠性、安全性、正确性、时效性、可维护性和可生存性等方面的要求远不及可信软件的要求高。

针对软件开发所涉各方在地理上分散的全球性软件开发项目,Sengupta 等人^[41]分析了这类软件开发项目面临的特殊问题,并提出了解决这些问题需要研究的课题,但是并没有具体研究提出的课题。其课题之一是需要建立合适的方便各参与方交流的平台。类似地,针对这种全球性软件开发项目,Sinha 等人^[42]认为需要适当的支撑工具,以便支持软件开发所涉各方在需求获取和理解上取得一致。为此,Sinha 等人开发了一个名为 Egert 的分散性需求管理的合作性软件工具,然而他们主要从效果上介绍了 Egert,理论上的介绍很少。

Xiong 等人^[43]对可信性需求重要度概念进行研究,提出了一种软件需求定量分析方法和优先级排序方法。阚红星等人^[44]研究了可信软件测试需求的简约问题,得出了可信软件自动测试风险发生的阈值并提出了风险规避策略。付超等人^[45]针对软件可信性评估信息源的不可靠性问题,如专家给出的评价信息存在较大的局限性和非理性,提出了一种基于证据推理方法的软件可信性评估模型。美国 UNCC 助理教授 Lee 博士基于本体建模工具 GenOM 提出一个面向动态自适应的可信需求建模框架,并与国内赵文耘等人合作进行了非功能需求建模的研究^[46],提出了基于特征的软件产品线需求追踪元模型,目前这项工作已经在案例分析阶段。

3 展望

可信软件研究方兴未艾,目前我国软件需求正由简单转向复杂,需求项也变得越来越多样;软件也正由中小规模转向大型的可信软件;开发环境也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。随着这些转变,有关信息系统组建的研究重点已经由一体化系统、模块化系统向组件式系统转变。在这些转变过程中,理论研究越来越注重从宏观层转向从微观层角度分析问题和解决问题。

展望可信软件 RAA 方面的前沿研究领域主要有:研究多维异质非功能需求的相互依赖性、优先性、冲突消解、权衡分析与完整性表述方式及可视化研究^[47];研究各种形式化方法^[48]在需求获取中的应用以提高需求文档的可靠性和安全性;研究可信软件需求的涌现性,得到可信软件需求间的相互作用规律^[49];研究可信软件规则集,使扩展后的需求满足清晰性、完整性、一致性、可跟踪性等高可信性质;研究系统的可信性分析评估^[50,51]与可信度量;研究基于 Actor 依赖关系的需求识别及基于风险分析的可信性需求预测;研究功能本体^[52]、信任本体和信任推理;研究非功能需求^[53]到功能需求的协同集成;研究认知科学、行为科学、系统科学、计算机技术、数理科学以及人工智能技术等可信软件 RAA 领域的应用。

4 结束语

需求获取与分析是可信软件领域的研究热点之一,近年来得到了广泛的关注和快速的发展;但需求获取与分析还存在着这样那样的问题,仍需要加强现代方法如元模型、数据挖掘、形式化语义分析等领域技术的研究,以促进需求获取与分析得到更加理想的发展。

参考文献:

- [1] 刘克,单志广,王戟,等.“可信软件基础研究”重大研究计划综述[J]. 中国科学基金,2008,22(3):145-151.
- [2] 陈火旺,王戟,董威.高可信软件工程技术[J]. 电子学报,2003,31(21):1933-1938.
- [3] 覃志东.高可信软件可靠性和防危性测试与评价理论研究[D]. 成都:电子科技大学,2005.
- [4] SHELDON F T, KAVI K M, TAUSWORTHE R C, *et al.* Reliability measurement from theory to practice [J]. *IEEE Software*, 1992, 9(4):13-20.
- [5] GOTTESDIENER E. Requirements by collaboration [M]. Boston: Addison-Wesley, 2002.
- [6] ROBINSON W N, VOLKOV V. Supporting the negotiation life cycle [J]. *Communications of the ACM*, 1998, 41(5):95-102.
- [7] ROBERTSON S, ROBERTSON J. Mastering the requirements [M]. Harlow, UK: Addison-Wesley, 1999.
- [8] HOLBROOK H. A scenario-based methodology for conducting requirement elicitation [J]. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 1990, 15(1):95-104.
- [9] HSIA P, SAMUEL J, GAO J, *et al.* Formal approach to scenario analysis [J]. *IEEE Software*, 1994, 11(2):33-41.
- [10] SUTCLIFF A, MAIDEN N. The domain theory for requirements engineering [J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 1998, 24(3):760-773.
- [11] 金芝.基于本体的需求自动获取[J]. 计算机学报,2000,23(5):486-492.
- [12] SUTCLIFFE A, RYAN M. Experience with SCRAM, a scenario requirements analysis method [C]//Proc of the 3rd International Conference on Requirements Engineering. Washington DC: IEEE Computer Society, 1998:164-171.
- [13] DEAN A, LEE J, PENDERGAST M, *et al.* Enabling the effective involvement of multiple users: methods and tools for collaborative software engineering [J]. *Journal of Management Information Systems*, 1997, 14(3):179-222.
- [14] NUSEIBEH B, EASTERBROOK S, RUSSO A. Leveraging inconsistency in software development [J]. *Computer*, 2000, 33(4):24-29.
- [15] BOEHM B, PORT D. Escaping the software tar pit: model clashes and how to avoid them [J]. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 1999, 24(1):36-48.
- [16] 王继,李明树.一个三维需求模型及其对涉众协同的支持[J]. 软件学报,2007,18(10):2380-2392.
- [17] DORFMAN M, THAYER R. Standards, guidelines and examples of system and software requirements engineering [M]. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 1991.
- [18] FINKELSTEIN A, GABBY D, HUNTER A, *et al.* Inconsistency handling in multiperspective specifications [J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 1994, 20(8):569-578.
- [19] NUSEIBEH B, KRAMER J, HUNTER A. A framework for expressing the relationships between multiple views in requirements specification [J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 1994, 20(10):760-773.
- [20] HUNTER A, NUSEIBEH B. Managing inconsistent specifications: reasoning, analysis and action [J]. *ACM Trans on Software Engineering and Methodology*, 1998, 7(4):335-367.
- [21] LAMSWEERDE V, DARIMONT R, LETIER E. Managing conflict in goal-driven requirements engineering [J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 1998, 24(11):908-926.
- [22] LAMSWEERDE V, LETIER E. Handling obstacles in goal-oriented requirements engineering [J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 2000, 26(10):978-1005.
- [23] HOLZMANN J. The model checker SPIN [J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 1997, 23(5):279-295.
- [24] HEITMEYER C L, JEFFORDS R D, LABAW B G. Automated consistency checking of requirements specifications [J]. *ACM Trans on Software Engineering and Methodology*, 1996, 5(3):231-261.
- [25] GLINZ M. A lightweight approach to consistency of scenarios and class models [C]//Proc of the 4th International Conference on Requirements Engineering. 2000:49-58.
- [26] 朱雪峰,金芝.关于软件需求中的不一致性管理[J]. 软件学报,2005,16(7):1221-1231.
- [27] Standish Group. CHAOS: a recipe for success [R]. Boston: Standish Group International Inc, 2001.
- [28] 雷辉,李怀璋,王青.基于 ISO9001 和 CMM 的软件需求管理的研究[J]. 计算机科学,2002,29(2):87-90.
- [29] THAYER R H, DORFMAN M. Software requirements engineering [M]. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 1997.
- [30] GORSCHKE T, DAVIS A M. Requirements engineering: in search of the dependent variables [J]. *Information and Software Technology*, 2008, 50(1):67-75.
- [31] NAVARRO E, MOCHOLI J A, LETELIER P, *et al.* A meta modeling approach for requirements specification [J]. *Journal of Computer In-*

- formation Systems, 2006(1):67-77.
- [32] SALO A, KAKOLA T K. Groupware support for requirements management in new product development [J]. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 2005, 15(4):255-284.
- [33] 谭建荣, 戴若夷, 冯毅雄, 等. MC 与广义需求集成中的需求信息元方法研究[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2004, 16(12):1684-1690.
- [34] 李晓明, 孙林岩, 汪应洛. 基于知识管理的软件需求管理研究[J]. *研究与发展管理*, 2005, 17(2):17-28, 39.
- [35] PAULK M, CURTIS W, CHRISSIS M B, *et al.* Capacity maturity model for software, version 1.1, SEI-93-TR-024[R]. Pittsburgh: Software Engineering Institute, 1991.
- [36] 毛明志, 沈贤义, 黄春贤. 基于特性的软件需求管理工具的研究与应用[J]. *计算机技术与发展*, 2007, 17(5):92-94.
- [37] 甘早斌, 陈传波, 裴先登. 基于 Web 的软件需求管理系统[J]. *计算机应用研究*, 2003, 20(9):53-55.
- [38] de LEON D C, ALVES-FOSS J. Hidden implementation dependencies in high assurance and critical computing systems[J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 2006, 32(10):790-811.
- [39] REZNIK J, RITTER T, SCHREINER R, *et al.* Model driven development of security aspects[J]. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 2007, 163(1):65-79.
- [40] CHAN W, ANDERSON R J, BEAME P, *et al.* Model checking large software specifications[J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 1998, 24(7):498-520.
- [41] SENGUPTA B, CHANDRA S, SINHA V. A research agenda for distributed software development [C]//Proc of the 28th International Conference of Software Engineering. New York: ACM Press, 2006:731-740.
- [42] SINHA V, SENGUPTA B, CHANDRA S. Enabling collaboration in distributed requirements management [J]. *IEEE Software*, 2006, 23(5):52-61.
- [43] XIONG Wei, WANG Xiao-tun. Software requirements management using QFD: a process perspective [C]//Proc of International Symposium on Computational Intelligence and Design. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2008.
- [44] 阙红星, 杨善林, 吴晓琴. 一种软件自动测试风险判别和规避模型[J]. *中国管理科学*, 2008, 16(5):123-127.
- [45] 付超, 杨善林. 客观置信 BBA 及其一致构建[J]. *系统仿真学报*, 2009, 21(7):1986-1990.
- [46] PENG Xin, LEE S W, ZHAO Wen-yun. Feature-oriented nonfunctional requirements analysis for software product line [J]. *Journal of Computer Science and Technology*, 2009, 24(2):319-338.
- [47] 黄茂林, NGUYEN Q V. 用多层次聚类法完成的大规模关系图的可视化[J]. *软件学报*, 2008, 19(8):1933-1946.
- [48] 胡军, 黄志球, 曹东, 等. 网构软件的资源自适应性的形式化分析与验证[J]. *软件学报*, 2008, 19(5):1186-1200.
- [49] MAREW T, LEE J S, BAE D H. Tactics based approach for integrating non-functional requirements in object-oriented analysis and design [J]. *Journal of Systems Software*, 2009, 82(10):1642-1656.
- [50] 金振中, 向杨蕊. 武器系统仿真结果可信性分析及其应用[J]. *系统仿真学报*, 2009, 12(21):3599-3602.
- [51] 胡东辉, 王丽娜, 江夏秋. 盲环境下的数字图像可信性评估模型研究[J]. *计算机学报*, 2009, 32(4):675-687.
- [52] 郑丽伟, 金芝. 需求驱动的主动网构实体聚合[J]. *软件学报*, 2008, 19(5):1083-1098.
- [53] 胡旭东, 曾国荪, 陈波. 一种基于非功能属性决策的可信 Web 服务发现模型[J]. *计算机科学*, 2009, 36(2):95-98.
- (上接第 3616 页)
- [30] CAPRA L, EMMERICH W. CARISMA: context-aware reflective middleware system[J]. *IEEE Trans on Software Engineering*, 2003, 29(10):929-945.
- [31] 美国 Arizona 州大学. RCSM 中间件项目 [EB/OL]. <http://dpse.asu.edu/rcsm/>.
- [32] HERNANDEZ-SOSA D, DOMINGUEZ-BRITO A C, GUERRA-AR-TAL C, *et al.* Runtime self-adaptation in a component-based robotic framework [C]//Proc of IEEE/RSJ International Conference on Digital Object Identifier. 2005.
- [33] 王勇, 代桂平, 侯亚荣. 信任感知的组合服务动态选择方法[J]. *计算机学报*, 2009, 32(8):1668-1675.
- [34] 郭慧鹏, 怀进鹏, 邓婷, 等. 一种可信的自适应服务组合机制[J]. *计算机学报*, 2008, 31(8):1434-1444.
- [35] 李研, 周明辉, 李瑞超, 等. 一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法[J]. *软件学报*, 2008, 19(10):2620-2627.
- [36] 蒋哲远, 韩江洪, 王钊. 动态的 QoS 感知 Web 服务选择和组合优化模型[J]. *计算机学报*, 2009, 32(5):1014-1025.
- [37] 廖渊, 唐磊, 李明树. 一种基于 QoS 的服务构件组合方法[J]. *计算机学报*, 2005, 28(4):627-634.
- [38] GAO Zhi-gang, WU Zhao-hui. Component assignment for large distributed embedded software development [C]//Proc of the 2nd International Conference on Advances in Grid and Pervasive Computing. Berlin: Springer, 2007:642-654.
- [39] 唐磊, 廖渊, 李明树, 等. 面向普适计算的服务构件动态部署问题及算法[J]. *计算机研究与发展*, 2007, 44(5):815-822.
- [40] 孙海龙, 怀进鹏, 福公为. 一种自适应的网络计算资源组织与发现机制[J]. *软件学报*, 2009, 20(1):152-163.
- [41] 毛斐巧, 齐德昱. 一种动态适应性软件体系结构模型理论研究[J]. *计算机应用研究*, 2008, 25(7):2053-2056.
- [42] MORANDINI M, PENSERINI L, PERINI A. Modelling self-adaptivity: a goal-oriented approach [C]//Proc of the 2nd IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems. 2008:469-470.
- [43] GOLDSBY H J, SAWYER P, BENCOMO N, *et al.* Goal-based modeling of dynamically adaptive system requirements [C]//Proc of the 15th Annual IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems. 2008:36-45.
- [44] 高俊, 李长云, 文志华, 等. 面向网构软件的构件自适应机制研究[J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(5):1749-1753.
- [45] 万灿军, 李长云. 动态演化环境中可信软件行为监控研究与进展[J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(4):1201-1204.
- [46] 张仕, 黄林鹏. 基于 OSGI 的服务动态演化[J]. *软件学报*, 2008, 19(5):1201-1211.
- [47] OREIZY P, GORLICK M M, TAYLOR R N, *et al.* An architecture-based approach to self-adaptive software [J]. *IEEE Intelligent System*, 1999, 14(3):54-62.
- [48] 梅宏, 黄昱, 赵海燕, 等. 一种以体系结构为中心的网构软件开发方法[J]. *中国科学 E 辑: 信息科学*, 2006, 36(10):1100-1126.
- [49] 胡海洋, 马晓星, 陶先平, 等. 反射中间件的研究与进展[J]. *计算机学报*, 2005, 28(9):1407-1420.