

特征交互问题导论

梅 宏, 黄 罡, 邢 岩, 彭 枫

(北京大学信息科学技术学院软件研究所, 北京 100871)

摘 要: 特征交互问题是长期困扰电信领域的主要挑战之一, 随着 Internet 的发展, 软件(特别是 WEB 软件)随着其集成的特征愈多、规模愈大、服务质量要求愈高、演化愈频繁、对人与社会的影响愈大, 其中的特征交互问题亦开始呈现并日趋严重. 尽早开展相关研究与实践, 是避免软件在特征交互问题上重蹈覆辙的有效途径. 本文着重介绍了电信领域中特征交互问题的基本概念、实例及其分类, 在分析已有研究成果的基础上, 讨论了今后的研究方向. 进而通过介绍基于软件体系结构的特征交互问题研究, 探讨了软件中的特征交互问题.

关键词: 特征交互问题; 电信领域; Web 软件; 软件体系结构

中图分类号: TP311 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 12A-1923-05

An Introduction to Feature Interaction Problem

MEI Hong, HUANG Gang, XING Yan, PENG Feng

(Software Institute, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Feature interaction problem (FIP) is one of the most important challenges in the telecommunications. With the evolution of Internet, software (especially Web-based software) becomes more and more complex, needing more features integrated, larger scale, higher quality and more frequent evolution. As a result, FIP in software becomes inevitable and critical. It is necessary and urgent to study FIP in software in order to avoid the same problem in telecommunications. This paper introduces the fundamental concepts, achievements and trend of the FIP research in telecommunications. Moreover, this paper presents the status quo of the FIP research in software and our preliminary study on the FIP based on Software Architecture.

Key words: feature interaction problem; telecommunications; web-based software; software architecture

1 引言

电信系统可视为由一个基本的功能集合以及一组特征组成. 其中, 基本功能集合完成信道建立、维护、信号传输等工作; 特征则是用户可见的、可选的、系统功能增加的基本单元. 作为典型的面向服务的系统, 电信通过一组特征及其之间的交互为用户提供服务. 为不断满足用户需求, 电信系统经过长期发展产生了成百上千的特征. 电信系统的超大规模与 7×24 (每周 7 天、每天 24 小时) 不停机服务, 决定了通过删除或替换特征以实现系统更新难度较大, 因此, 电信系统的更新往往通过增加特征来实现, 导致一台通信交换机上往往积累了数以百计的特征. 这些特征为了满足用户需求而进行交互, 同时, 由于需求冲突、资源竞争、基础设施不足等原因可能导致这些特征发生非预期的交互. 这种非预期的交互往往导致用户的服务请求无法满足甚至得到错误的处理, 此即所谓特征交互问题. Bellcore 在 20 世纪 80 年代初发现的特征交互问题, 目前已成为电信系统增加新型服务、提高服务质量最严重的障碍之一. 自 1989 年 Bowen 等人开始, 电信领域的研究人员

针对特征交互问题展开了深入细致的研究, 取得了一定的成果, 但缺乏实用的整体解决方案.

特征交互问题并不仅仅局限于电信领域, 电梯控制系统、电子邮件系统、数据流系统、基于规则的系统、Web Services 等均发现了类似的特征交互问题. 究其本质, 特征交互问题源自对需求认识不足、对系统演化考虑不够、设计和实现不当、运行环境资源有限等软件开发中经常遇到的问题. 而特征交互问题之所以在电信领域中成为必须解决、目前又无法解决的难题, 是因为: 其一, 电信系统的特征往往聚合在同一台设备上, 为多个用户提供多种服务, 所有的特征必须同时有效, 这意味着无法直接避免需求冲突导致的特征交互问题, 即, 通过定制使可能发生特征交互问题的特征失效或将它们分散到不同的设备上; 其二, 电信系统的规模、厂商的数量以及 7×24 不停机服务质量决定了电信厂商不可能更新整个系统以解决特征交互问题. 而电信领域以外的传统软件系统或者只聚合了少数的功能单元, 或者功能单元可定制、可分布, 或者系统规模与服务质量允许更新整个系统, 因此并没有受到特征交互问题的严重干扰.

收稿日期: 2002-06-06; 修回日期: 2002-10-10

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60233010); 国家杰出青年科学基金 (No. 60125206); 国家自然科学基金 (No. 60043002); 教育部博士点基金 (No. 20010001001)

随着 Internet 的发展以及软件即服务的产业新模式的诞生,运行于 Internet 上的 Web 软件系统呈现出类似电信系统的特点,Web 应用系统聚合了众多的特征、规模庞大、服务质量要求灵活、系统演化频繁、对人与社会的影响大,如果不提前着手研究 Web 软件系统中的特征交互问题,在最终建立新一代 Internet 软件体系结构与基础设施之前找到可行的解决方案,那么,在未来,特征交互问题带来的不良后果及其解决的难度很可能远甚于今天的电信系统.2001 年 7 月欧洲举办的“Feature Interaction in Composed System(FICS)”会议,第一次明确提出研究电信领域之外的软件系统中的特征交互问题^[15].

本文将介绍电信领域特征交互问题的基本概念、研究趋势、以及软件中特征交互问题的实例研究.文章的余下内容组织方式为:第二章介绍特征交互问题的基本概念;第三章分析电信领域研究现状及其发展趋势;第四章介绍软件中的特征交互问题以及作者的研究工作;最后一章总结全文并展望将来的工作.

2 基本概念

特征是在电信领域中广泛使用的一个概念,很多研究人员从不同角度对特征进行了定义.如:

(1)特征交互问题研究的开创者^[1]:“特征是供用户或管理员使用的逐步递增的功能包.”

(2)FIW^[7]:“特征是对电信服务的控制的修改或增强.”

(3)ITU-T^[4]:“特征为用户可见的最小的服务单元.”

(4)Bellcore^[14]:“特征是电信网络提供给用户、基于电信管理的功能单元.”

综上,以特征作为基本单元的电信系统可以表示为如下形式:

$$S = B \oplus F_1 \oplus F_2 \oplus F_3 \oplus \dots \oplus F_n$$

该表达式的涵义为:一个电信系统 S 是由一个基本的特征集合 B 和附加于其上的若干特征 F_i , ($i \in 1, \dots, n$) 组成,特征脱离了基本的特征集合 B 是不能运行的.

目前电信系统已经产生了成百上千的特征.如,忙时转接(Call Forwarding Busy Line)就是在电话处于通话状态时将新的呼叫转接到另一台电话;无条件呼叫转移(Call Forwarding Unconditionally, CFU)则是任何呼叫都将无条件地转接到另一台电话;呼叫源号码传送(Calling Number Delivery)允许用户接收并显示呼叫方的号码;源禁止接通(Originating Call Screening, OCS)允许用户设置不允许呼叫的号码;而端禁止接通(Terminating Call Screening)允许用户设置来自某些号码的呼叫不能接通;三方通话(Three-way Calling)允许三台电话同时通话;呼叫等待(Call Waiting)允许用户在通话时接听一个新的呼叫.

电信系统中的特征交互问题具有如下属性:

(a)特征交互指的是在不同的特征之间或者同一特征的不同实例之间发生的交互关系.

(b)特征交互问题在运行阶段出现,但其产生可能源于需求、设计或实现阶段.

目前已在电信系统中发现了很多特征交互问题.如图 1

所示,用户 A 定制了 OCS 服务,不希望接通过用户 C 的呼叫;用户 B 定制了 CFU 服务,希望所有呼叫都转接到用户 C .当 A 呼叫 B ,而 B 激活了对 C 的 CFU 服务时, A 的呼叫被接通过 C ,用户 A 定制的 OCS 服务失效.特征交互问题的分类一直是该领域重要的研究课题之一,很多研究人员给出了自己的分类方法.其中影响较大的分类方法如下:

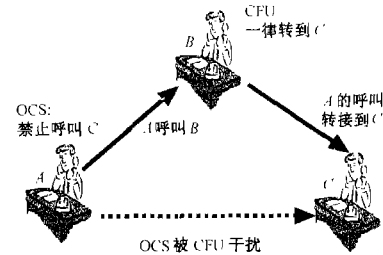


图 1 OCS 与 CFU 之间的特征交互问题

(a)按照特征的内在属性进行分类^[5].特征的内在属性包括:其内部包含特征的类型,包含在特征中的用户数目,包含在特征中的网络部件数目.该分类方法将特征交互问题分为:用户特征间的单用户单部件冲突,用户特征间的单用户多部件冲突,用户特征间的多用户单部件冲突,用户特征间的多用户多部件冲突以及用户特征和系统特征间的冲突.

(b)按因果关系进行分类^[5]是应用较广的一种分类方法.该方法总结了已知的特征交互产生原因,包括网络能力的限制、分布式网络内在的问题以及不安全的假设.

(c)从生命周期角度来进行分类^[6],按照特征交互问题产生的不同的阶段来进行划分,有需求规约阶段、设计阶段、实现阶段、运行阶段以及维护阶段等.

(d)还有的研究人员结合上面的几种方法,提出更复杂的分类法,如文献[2]中提出的 Emerging Level View 分类法包括逻辑层、抽象体系层和具体体系层.

3 电信领域研究现状

随着特征和服务数量的增加,特征和服务可能的组合呈指数级增长,这使得需要用来处理特征交互问题的工作量也爆炸性地增加.因此,特征交互问题支配着电信软件开发的整个过程^[1].由于同样的原因,完备的服务和特征组合测试工作变得几乎无法管理.特征交互问题已经成为如何有效地利用时间和资金引入新服务的最主要障碍,同时也增加了服务提供商的风险.

3.1 研究方法

现有的特征交互问题研究基本上是从如下三个角度展开:

(1)研究目的:包括预防(prevention/avoidance)、检测(detection)和消除(resolution).预防是指通过各种手段消除隐患,避免特征交互的发生,如:建立特定的体系结构、定义特殊的协议、在整个特征开发过程中引入新的策略、或者制定一系列的指南;检测就是发现或证明现有系统中存在特征交互问题.特征多、演化强的系统是无法完全预知其内部行为的,也无法通过预防措施完全避免特征交互问题,因此,特征交互问题的检测是必需的.

(2)研究手段:包括形式化方法、非形式化方法和试验技

术.形式化方法最适合于特征交互问题^[11],将成为该领域的主要研究手段;而诸如启发式等非形式化方法和测试、仿真等试验技术也是不可缺少的辅助手段.

(3)适用范围:从生命周期看,目前的研究涉及需求规约阶段、设计阶段、实现阶段、运行阶段和测试、维护阶段.研究工作往往针对单个阶段展开,少数研究则针对几个连续的阶段.由于需求分析与规约不清、设计与实现不当、运行基础设施不足等均可能导致特征交互问题,这意味着侧重于单个阶段无法完全或最大限度地解决问题^[2,8],因此,软件工程理论与方法开始在该领域发挥作用,成为特征交互问题主流研究方向之一.

3.2 研究现状

文献[2]综述了 1997 年以前特征交互研究的大部分工作,文献[3]则重点介绍了 1997 年至 2001 年期间通过软件工程方法、形式化方法和在线检测技术研究特征交互问题的的工作,作者在文[18]中对 6 届 FIW 的所有论文进行了介绍和评价:

(1)作为第一届会议,FIW'92 分析了特征交互问题的研究背景,并指出电信领域以外的某些软件系统也可能存在类似问题.此次会议从管理、检测、平台等角度交流对特征交互问题的认识,为以后的研究与实践奠定了基础^[7].

(2)FIW'94 指出研究特征交互问题的最终目标是使得特征交互不再成为一个问题,即,用户不会困扰于非预期的特征行为,而服务提供商只需为此付出合理的代价.特征交互问题的多样化和复杂性,决定了单一技术不可能完全解决特征交互问题.该届会议将针对特征交互的技术划分为预防、检测和消除,并指出只有综合多种技术才能完整解决特征交互问题^[8].

(3)面对不断出现的新方法和新技术,FIW'95 认为应该建立一个技术评估框架,以发现或确认这些技术有助于解决特征交互问题的关键点或创新点.该评估框架应该囊括现有的方法和技术,提供特征交互的定义、分类和基准.本次会议认为可以从视点分析、问题定义、解决方案三个角度理解特征交互的处理.视点分析是指从一个特定角度考虑特征交互,如从用户角度和从网络运营商角度看到的特征交互是不一样的.不同的视点分析导致不同的分类和表示,即,特征交互问题的定义也不同.不同的问题定义进而导致不同的解决方案^[9].

(4)FIW'97 认为特征交互问题与服务的创建、维护和演化有关,涉及分布计算、软件维护、软件校验与验证、软件文档、软件开发过程等理论与技术,可看成软件演化技术的新兴课题.此次会议的文章题材呈现出多样化的特征,较突出的工作包括从软件角度审视特征交互问题的本质,以及探讨 FIW'95 建立的技术框架的完整性与合理性^[10].

(5)随着电信系统的新体系出现,以及电信领域以外的研究者加入,特征交互的研究发生了变化.FIW'98 将讨论内容划分为四个方面:电信系统新体系(如 Intelligent Network, Computer Telephony Integration, Telecommunication Information Networking Architecture, Mobile Network 等)的出现导致特征交互的表现

形式和解决方案发生变化;采用软件工程的方法和技术是解决特征交互问题的新思路;采用形式化方法检测特征交互问题得到众多研究者的关注;产业界大多采用非形式化方法检测和消除特征交互问题^[11].

(6)FIW'00 是 FIW'98 的延续,其内容也划分为类似的四个方面:Internet Telephony 和 Email 中的特征交互问题得到探讨,同时,有文章指出应该将更多精力放在新体系上,因为基于旧的电信体系难以真正解决特征交互问题;软件工程方法和技术的应用得到深入;形式化方法得到更广泛的研究;而产业界采用的方法则集中于在线检测^[12].

3.3 研究趋势

从近两届 FIW 会议来看,特征交互问题的研究集中在如下三个主流方向:

(1)软件工程方法:软件工程已经被证明对开发大规模软件产品非常有效.对于电信服务规模庞大、实时要求高、易于变化以及对可靠性的要求高等特点,引入软件工程的思想有助于将服务开发的过程规范化、标准化.通过建立一个严格执行的工作流程,在很大程度上增加了解决特征交互问题的可能性,同时,也能极大地限制特征交互问题的发生.

(2)形式化方法:形式化方法的特点在于其关注点是特征交互而不是特征的具体实现,因此,形式化方法仅需考虑特征需求及其规约.形式化方法应用于特征交互问题的途径包括^[3]:属性方法,按照一定的逻辑定义出抽象属性和基本服务,冲突问题通常情况下表示为不一致或不可满足性问题;行为方法,定义出特征的行为描述和基本服务,使用状态机来表达操作的语义,冲突问题通常表现为死锁和不确定性等;属性和行为模型方法则结合了前两种方法.

(3)在线检测技术:在线检测技术主要是针对运行时刻的服务而言,是避免特征交互不良影响的后防线.在线检测技术往往包括检测和消除两部分,其最大优势在于无需对现有系统进行任何改变,能够处理运行时刻网络中的附加功能,并且允许系统的开放和扩展.

4 软件中的特征交互问题

2001 年 7 月召开的 FICS 会议首次明确提出研究电信领域以外的其它软件系统中存在的特征交互问题.会议在传统的可组装软件系统的特征定义、特征交互分类以及实例研究方面取得了一定的成果,主要包括:特征是软件中可观测、相对独立的行为或特性;软件需求仅适用于问题域,而特征既存在于问题域也存在于解决域,一个软件需求可能产生一个或多个特征,而问题域特征与解决域特征不尽相同,也不存在严格的一一对应关系;软件构件实现一个或多个特征,一个特征也可能由多个构件共同实现;特征既可能是一个功能单元也可能是某种非功能的属性^[15].

作者在基于软件体系结构的特征交互问题研究中也取得了一定的成果与经验.软件体系结构(Software Architecture, SA)往往包含构件和连接器(或连接、交互)这两种系统中最主要的实体,其中构件是系统中的计算元素,连接器是计算元素之间的交互^[13].由于 SA 描述了系统运行时的部分情况,因此,

系统运行过程中发生的特征交互问题自然可能反映在该系统的 SA 中。体系风格是对 SA 的一种分类, 每种体系风格表示了一组具有相似特性的软件体系结构。体系风格往往表示为一组特定的构件类型、表示构件之间运行时时刻联系的拓扑结构、一组语义约束、以及一组特定的连接子类型的集合。文献[13]归纳总结了五类十几种体系结构风格。对于开发者而言, 采用某种体系风格意味着遵循一组假设和约束, 如管道-过滤器风格假设构件之间没有依赖关系, 构件必须依次执行等, 而分层体系风格规定任一层只能调用紧邻的下层服务实现自身功能, 并为紧邻的上层提供服务。如果实际系统不符合体系风格的假设和约束, 就可能导致特征交互问题。作者研究了如下体系风格隐含的特征交互问题:

(1) 管道-过滤器体系风格: 在基于 CORBA 截取器(interceptor)的分布服务系统中, CORBA/ORB 会按照安装顺序依次激活各个截取器并输入调用请求。截取器可中断请求的处理, 位于该截取器之后的其它截取器将无法处理该请求。当供应商提供的描述信息不充分或安装人员对截取器语义不甚了解时, 这种顺序执行模式会导致特征交互问题的出现。如, 认证截取器检验到达请求携带证书的有效性, 证书有效则允许请求继续被处理, 否则中断请求的执行, 返回一个安全例外给客户。而日志截取器记录所有到达请求和返回的应答或例外, 不会中断请求的处理。如果认证截取器先于日志截取器安装/执行, 前者将中断那些证书无效的请求的处理流程, 导致后者无法记录该请求, 即, 日志截取器没有正确履行“记录所有到达请求”的职责。文献[17]对管道-过滤器体系风格进行了形式化建模, 即, 建立以过滤器为顶点、管道为弧的有向图, 如果该有向图存在环则意味着存在特征交互问题。同时, 通过 AOV 网(activity on vertex network)的拓扑排序可得出没有特征交互问题的过滤器安装/执行顺序。

(2) 基于规则的系统风格: 基于规则的系统根据预先设置的规则确定运行时的行为, 路由器的 IP 过滤系统就是一种典型的基于规则的系统。在该系统中, 管理员设置各种规则以指导路由器对接收到的 IP 包的处理, 如目标端口为 21 的包一律丢弃(规则 1), 目标端口小于 255 的包执行规则 35(规则 2), 源地址在 202.112.58.0 到 202.112.58.24 的包一律通过(规则 3)等等。当一个包来自 202.112.58.1, 目标端口为 21 时, 路由器根据规则 1 将其丢弃, 但这种行为破坏了规则 3 希望该包通过的意图, 即, 发生特征交互问题。如果在制定规则时能够自动扫描可能发生冲突的规则, 并要求管理员设定正确的优先关系, 就能够避免或缓解特征交互问题带来的不良后果。文献[16]通过去除路由器规则表中的“else”和“goto”子句, 将规则冲突的检测转换成一个可满足性问题(Satisfiability Problem), 即, 如果两条规则的行为冲突(路由器的 IP 过滤行为只有通过和拒绝两种), 则检查这两条规则的触发条件是否存在重叠, 如果有重叠, 则意味着发生特征交互问题。

(3) 面向服务的体系风格: Web Services 体现了一种适合 Internet 的新型体系风格——面向服务的体系风格, 由于这种风格与电信系统有许多类似之处, 因而其特征交互问题也十分明显。如, 某用户向太平洋保险公司申请了 VIP 服务, 使之

购买太平洋保险可享受高达 50% 的优惠, 因此, 该用户希望今后所有的保险均从太平洋保险公司购买。该用户某次向中青旅购买云南自助游服务, 中青旅负责办理所有相关事宜, 如购机票、订饭店、买保险, 在此过程中, 中青旅可能向其长期合作客户平安保险公司购买旅游人身保险, 而机票公司可能提供太平洋保险公司的飞行人身保险。因此, 该用户的旅游人身保险没有得到预期的优惠, 即, 用户定购的 VIP 保险服务与自助游服务发生特征交互问题。文献[19]在 Web Services 客户端实现了一个服务注册表, 记录客户定购 Web Services 的历史信息(包括服务提供者信息、服务的细节、服务是否有效等等), 当客户定购新的服务时, 驻留在客户端的 Web Services 代理会搜索服务注册表, 如果发现某个有效服务与正在申请的服务发生冲突(如, 具有相同的服务细节但服务提供商不同), 则提出可能发生特征交互问题的警告。

5 结束语

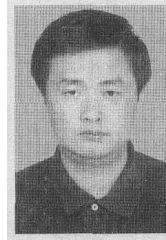
特征交互问题是电信系统增加新型服务、提高服务质量最严重的障碍之一, 支配着电信软件开发的整个过程。Internet 的发展和软件即服务的新型产业模式, 促使 Web 软件出现出类似电信系统的特点, 进而导致 Web 软件同样面临特征交互问题的困扰。如果不尽早开展相关研究与实践, 软件中的特征交互问题带来的不良后果以及解决难度极可能远甚于电信领域的今天。本文着重介绍了电信领域中的特征交互问题及其研究现状与趋势, 然后介绍了作者基于软件体系结构的特征交互问题研究。根据 Web 软件系统面向服务和持续演化的特性, 研究针对其生命周期的特征交互问题解决框架, 从需求、设计、实现等阶段全方位地解决 Web 软件特征交互问题是一条可行的途径。由于特征交互问题在电信领域研究超过 10 年而在软件领域刚刚起步, 本文仅作初步介绍, 也不够全面, 只希望能对从事软件领域中特征交互问题的研究起到促进和推广作用。

参考文献:

- [1] T F Bowen, F S Dworack, C H Chow, N Griffeth, et al. The feature interaction problem in telecommunications systems [A]. Seventh Int'l Conf. Software Eng. For Telecommunications Switching Systems [C]. London, 1989, 59 - 62.
- [2] Dirk O Kech, Paul J Kuehn. The feature and service interaction problem in telecommunications systems: A survey [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1998, 24(10): 779 - 796.
- [3] Muffy Calder, Mario Kolberg, Evan H. Magill, Stephan Reiff-Marganiec. Feature interaction: A critical review and considered forecast [A]. Feature Interaction in Composed System [DB/OL]. <http://i44w3.info.uni-karlsruhe.de/~pulvermu/workshops/ecoop2001/proceedings/FICS2001.pdf>, 2001.
- [4] Principles of Intelligent Network Architecture [S]. ITU-T Recommendation Q.1201. Geneva, 1992.
- [5] E J Cameron, N D Griffeth, Yow-Jian Lin, et al. A feature interaction benchmark for IN and beyond [A]. Feature Interactions in Telecommunications Systems [C]. IOS Press, Amsterdam, 1994, 1 - 23.

- [6] E J Cameron, H Velthuisen. Feature interactions in telecommunications systems[J]. IEEE Comm. 1993, 31(8):18 - 31.
- [7] H Velthuisen, N Griffeth, Y J Lin, editors. 1st Feature Interactions in Telecommunications Software Systems [C]. Florida, 1992.
- [8] L G Bouma, H Velthuisen, editors. 2nd Feature Interactions in Telecommunications Systems [C]. IOS Press, Amsterdam, 1994.
- [9] K E Cheng, T Ohta, editors. 3rd Feature Interactions in Telecommunications Systems [C]. IOS Press, Amsterdam, 1995.
- [10] P Dini, R Boutaba, L Logrippo, editors. 4th Feature Interactions in Telecommunication Networks [C]. IOS Press, Amsterdam, 1997.
- [11] K Kimbler, L G Bouma, editors. 5th Feature Interactions in Telecommunications and Software Systems [C]. IOS Press, Amsterdam, 1998.
- [12] M Calder, E Magill, editors. 6th Feature Interactions in Telecommunications and Software Systems [C]. IOS Press, Amsterdam, 2000.
- [13] Mary Shaw, David Garlan. Software Architecture: Perspectives On An Emerging Discipline [M]. Prentice Hall, 1996.
- [14] Advanced Intelligent Network (AIN) Release 1, Switching Systems Generic Requirements [R]. Bellcore Technical Advisory TANWT-001123, 1991.
- [15] Elke Pulvermuller, Andreas Speck, J O Coplien, M D' Hondt, W De-Meuter. Feature Interaction in Composed System [DB/OL]. <http://i44w3.info.uni-karlsruhe.de/~pulvermu/workshops/ecoop2001/proceedings/FICS2001.pdf>, 2001.
- [16] D Wang, R Hao, D Lee. Fault detection in rule-based software systems [R]. 2001.
- [17] 北京大学-贝尔软件技术联合实验室. 管道与过滤器软件体系风格中的特征交互问题研究[R]. 2001.
- [18] 北京大学-贝尔软件技术联合实验室. 电信领域中的特征交互问题[R]. 2002.
- [19] 北京大学-贝尔软件技术联合实验室. Web Services 中的特征交互问题研究[R]. 2002.

作者简介:



梅 宏 男, 1963 年 5 月生于贵州, 北京大学计算机科学技术系教授, 博士生导师, 主要从事软件工程和软件开发环境、软件复用和软件构件技术、新型程序设计语言等方面的研究。

Email: meih@pku.edu.cn.



黄 罡 男, 1975 年 10 月生于湖南, 北京大学计算机科学技术系博士研究生, 主要从事软件工程、软件构件和分布计算技术等方面的研究。

Email: huanggang@cs.pku.edu.cn.