

基于设计结构矩阵的可信 软件非功能需求评估模型^{*}

文杏梓, 罗新星

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘要: 可信软件非功能需求的量化评估是可信软件研究的一个重要领域。依据构件中非功能需求之间的相互关系,结合设计结构矩阵及矩阵变换、运算的方法,提出了非功能需求贡献值的概念,建立了构件和非功能需求关系的相关阵列及具有统一标准和评判尺度的可信软件非功能需求度量模型,并结合该模型构建了一种用来判断软件非功能需求是否符合软件开发者和用户预期的评估决策方法。最后通过一个实例来说明本模型的合理性和有效性。

关键词: 非功能需求;可信软件;设计结构矩阵;评估模型

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)10-3787-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.047

Evaluation model for non-functional requirements in trustworthy software based on design structure matrix

WEN Xing-zi, LUO Xin-xing

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

Abstract: It is an important field to evaluate non-functional requirements (NFRs) quantitatively in trustworthy software (TS). Based on the interdependent relations of NFRs inside the components, according to the design structure matrix, matrix shift and calculation, this paper presented the relative quantity of NFRs inside components, which helped to build the relational matrix between components and NFRs and to bring a calculation model of NFRs that had unified standard and estimated measure. And based on the model, it produced a decision method which could judge whether the NFRs accord with the anticipation of the software developers and user. At last, this paper demonstrated the rationality and validity of this model through a real case.

Key words: non-functional requirements (NFRs); trustworthy software (TS); design structure matrix (DSM); evaluation model

0 引言

互联网的普及和网络技术的迅猛发展,软件系统逐步走向动态开放、复杂多变的环境中。人们对软件的可信性产生了迫切的要求,并对可信软件开展了大量的研究。美国《国家软件发展战略(2006年—2015年)》将开发高可信软件放在首位,提出了下一代软件工程的构想。2008年初,我国“可信软件基础研究”重大研究计划正式启动,它是国家自然科学基金委员会“十一五”期间启动的重大研究计划之一。

可信软件非功能需求的评价和决策问题是可信软件领域中的一个重要问题,它涉及软件非功能需求一系列定性和定量指标。现今,研究者往往借助于大量可识别的质量指标对可信属性特征化,将其转换为一个多属性决策问题,并采用不同的方法和模型研究,如ISO9126软件质量模型^[1,2]、模糊理论模型^[3]、可信度计算模型^[4]、可信度量模型^[5]、开放资源构件

可信模型^[6]等,这些模型或方法往往将可信属性完全等同于非功能需求进行评价,而忽视了两者之间的相互关系;同时,评价中众多定性指标的量化问题也依赖于各种主观判断。即使有研究者从非功能需求的角度出发考虑指标之间的相互关系,如Voas^[7]采用线性的方法提出软件非功能需求的具体度量方法、Zhu等人^[8]提出FQSIG模型来评价可信软件非功能需求及非功能需求之间的冲突均衡关系,他们的研究也不能在一个统一的框架内处理非功能需求的定性和定量问题,且忽略了将非功能需求作为横切关注点的构件在软件体系结构中的应用。这些都导致了他们的模型或方法普适性差,只能适应于特定的情境中。

鉴于此,本文借助于设计结构矩阵,依据非功能需求之间的相互关系,构建了一个可信软件非功能需求的度量模型,该模型解决了统一框架内的众多定性非功能需求的量化问题。基于软件的质量与给定的需求有关^[9],本文根据软件开发者

收稿日期: 2012-02-22; **修回日期:** 2012-04-12 **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: 文杏梓(1980-),女,湖南湘潭人,博士研究生,主要研究方向为管理信息系统、需求工程(wenxingzi1980@yahoo.com.cn); 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、可信软件。

和软件用户对非功能需求视角不同,结合构件在软件体系结构中的不同应用,建立相应方法来判断评估软件非功能需求,并根据结果作出相应决策。

1 可信软件非功能需求度量模型

1.1 基于非功能需求相互关系的设计结构矩阵

在基于构件的软件开发方法下,构件作为软件系统的构成要素和结构单元,任何功能需求的实现最终都表现为一个或多个构件及其耦合。非功能需求是能够详述系统运行的评价标准,从非功能需求的属性来看,是依附于构件来实现并构成对具体软件功能需求的整体约束。借鉴面向方面的核心思想,非功能需求是构件设计与实现的横切关注点,它们嵌入到软件系统的体系结构中。

为了获得软件系统的可信性,满足用户需求的非功能需求客观评价,非功能需求应该是具体的、可分析的^[8]。依据 Chung 等人^[10]的定义,非功能需求一般包括可靠性、可用性、安全性、性能、容错性、可检测性、可持续性和保密性八个属性,其形式化表示为 $nf_i (i=1,2,\dots,8)$ 。它们之间的相互关系表现为积极关系、消极关系和无关系三种^[11]。例如,当一个软件系统旨在最大化可用性时,可用性可能会对安全性、可维护性产生消极关系;但当软件系统旨在最大化可靠性时,可靠性可能对可检测性产生积极影响。而软件系统中,可用性和数据精确性之间可能是没有关系的。将非功能需求之间的这种关系称为相互性,即一个非功能需求可能有利于另一个非功能需求或对其有反作用或是没有任何作用^[8,10]。也就是说,一个非功能需求的变化可能直接或间接引起其他非功能需求的变化。图 1 为表示基于构件的软件系统中,各构件中非功能需求之间的相互关系。

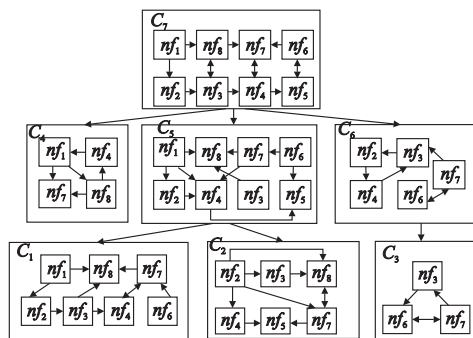


图1 基于构件的非功能需求关系

这种相互关系,可以通过设计结构矩阵(design structure matrix, DSM)来表达,设计结构矩阵是系统建模的一种常用工具,它以一种紧凑、可视、便于分析的形式体现系统构成元素之间的相互关系。

定义 1 非功能需求设计结构矩阵。设某构件中非功能需求用集合 $NF = \{nf_1, nf_2, \dots, nf_n\}$ 来表示, nf_i 表示第 i 个非功能需求,它们之间的相互关系用一个 $n \times n$ 维设计结构矩阵来表示。其行和列分别表示该软件系统中所有非功能需求,矩阵的维数 n 表示非功能需求的个数,主对角线元素标志着该非功能需求本身,用“▲”来表示;其他元素表示非功能需求之间的相互关系,其方向性由矩阵的行和列分别表示,行对应基于构

件的非功能需求关系图中有向边的弧头,列对应有向边的弧尾, $nf(i, j)$ 表示非功能需求 nf_j 直接影响非功能需求 nf_i ,并用“●”来表示。利用定义 1,图 1 中构件 C_1 的非功能需求设计结构矩阵如表 1 所示。

表 1 构件 C_1 的非功能需求设计结构矩阵

	nf_1	nf_2	nf_3	nf_4	nf_5	nf_6	nf_7	nf_8
nf_1	▲							
nf_2	●	▲						
nf_3		●	▲					
nf_4			●	▲			●	
nf_5					▲			
nf_6						▲		
nf_7				●		●	▲	
nf_8	●		●				●	▲

1.2 可信软件非功能需求度量模型的构建

在可信软件非功能需求直接或间接相互关系的基础上,建立可信软件非功能需求度量模型,具体步骤如下:

a) 确定构件中非功能需求的可达矩阵。给非功能需求设计结构矩阵中的矩阵元素填充具有一定语义的数值后,形成的矩阵称为非功能需求邻接矩阵。定义构件中非功能需求邻接矩阵来表达构件中非功能需求之间的相互关系;定义构件中非功能需求可达矩阵来确定非功能需求之间的直接或间接相互关系,即某些非功能需求的变化所影响的同一构件中其他非功能需求变化情况。

定义 2 非功能需求邻接矩阵。设软件非功能需求集合为 $NF = \{nf_1, nf_2, \dots, nf_n\}$, 其中 nf_i 表示第 i 个非功能需求,矩阵 $MC_i = mc_i(j, k)$ 表示构件 C_i 中非功能需求 nf_j 与 nf_k 之间是否存在直接影响关系(其中 i, j, k 为正整数),且有

$$MC_i = mc_i(j, k) = \begin{cases} 1 & \text{当 } nf_k \text{ 直接影响 } nf_j \text{ 时} \\ 0 & \text{当 } nf_k \text{ 不直接影响 } nf_j \text{ 时} \end{cases} \quad (1)$$

称矩阵 MC_i 为构件 C_i 的非功能需求邻接矩阵。

定义 3 非功能需求可达矩阵。设软件非功能需求集合为 $NF = \{nf_1, nf_2, \dots, nf_n\}$, 非功能需求邻接矩阵 MC_i 对应关系为 $R \subseteq NF^2$, 关系 R 的传递闭包为 $R^+ = R \cup R^2 \cup \dots \cup R^p$, 则对应的矩阵

$$MC_i R^+ = MC_i R \vee MC_i R^2 \vee \dots \vee MC_i R^p = \bigvee_{k=1}^p MC_i R^k \quad (2)$$

$MC_i R^k = MC_i R^{k-1} \vee MC_i R (i=2, 3, \dots, p)$, 称矩阵 $MC_i R^+$ 为构件 C_i 的非功能需求可达矩阵,简称可达矩阵。

通过定义 2 和 3,确立构件中非功能需求的可达矩阵,也就确定了它们之间直接或者间接的影响关系。

b) 确定各个构件中非功能需求的贡献值。设系统构件集合为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_p\}$, $C_i NF = [nf_1, nf_2, \dots, nf_n] (i=1, 2, \dots, p)$ 是一个一维数组,数组 $C_i NF$ 中任一元素 $nf_k = \begin{cases} 1 & nf_k \text{ 是构件 } C_i \text{ 的横切关注点} \\ 0 & nf_k \text{ 不是构件 } C_i \text{ 的横切关注点} \end{cases}$, 令

$$MC_i NF = [c_i nf_1, c_i nf_2, \dots, c_i nf_n] = C_i NF * MC_i R^+ \quad (3)$$

其中: $c_i nf_j$ 表示构件 C_i 中非功能需求 nf_j 直接或间接影响其他非功能需求的个数,称之为贡献值。非功能需求的贡献值越

大,则该非功能需求对其他非功能需求的影响就越大,该非功能需求就越重要。

c)确定非功能需求度量模型。令

$$MCNF = [MC_1NF, MC_2NF, \dots, MC_pNF]^T \quad (4)$$

则矩阵 $MCNF$ 的第 i 行表示构件 C_i 中各个非功能需求的贡献值,第 j 列表示非功能需求 nf_j 在各个构件中的贡献值。求矩阵 $MCNF$ 各行和各列的贡献值之和,分别用 $\sum nf_i$ 和 $\sum C_i$ 表示,得到构件与非功能需求贡献值阵列,该阵列表示构件中各个非功能需求的总贡献值和各个非功能需求在整个系统中的总贡献值,即构件及系统中非功能需求的、具有同一尺度和统一标准的客观评价价值。

2 需求差异视角的非功能需求评估

在可信软件非功能需求度量中,不同的群体对软件非功能需求评判的视角和要求不同,具体体现在确定软件非功能需求的重要性方面。软件开发人员可能更看重软件中基于构件的复用、多层体系结构等问题,他们认为组成系统的各个构件的重要性不同,导致不同构件中非功能需求的重要性也相应不同。而软件用户并不需要知道软件的构件组成,他们更看重软件非功能需求能否达到他们的预期,即非功能需求对整个系统的贡献情况。

若某一软件系统,软件开发人员根据各个构件对整个系统的重要性不同,分别赋予各个构件的权重值 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p)$, $\sum_{i=1}^p \alpha_i = 1 (0 \leq \alpha_i \leq 1)$, 构件中非功能需求的权重值也相应变化,则基于软件开发人员需求的软件非功能需求度量值为

$$A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p) \times \left(\sum_{j=1}^n nf_j \mid C_j \right)^T (j=1, 2, \dots, p) \quad (5)$$

软件用户在综合考虑该软件系统非功能需求重要性的情况下,给出各个非功能需求的权重值 $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1 (0 \leq \beta_i \leq 1)$, 则基于软件用户需求的该软件非功能需求的度量值为

$$B = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) \times \left(\sum_{j=1}^p C_j \mid nf_i \right)^T (i=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

令

$$\tau = 1 - \frac{|A - B|}{B} \quad (7)$$

其中: τ 为评估值,即通过不同群体、不同需求的度量,软件非功能需求的设计、实现在多大程度上与之在实践中软件用户的评价相吻合,即对软件非功能需求的评估值。软件开发人员和用户可以共同确定 τ 值的范围,以便确定该软件非功能需求的质量水平和风险程度。

3 应用实例

企业员工注册认证系统(以下简称认证系统)是企业信息系统的—个主要功能模块,它是一个复合构件,主要完成个人权限分配、注册信息登记和数据维护、与其他部门或系统的交互三大功能。其构件集合表示为 $COM = \{C_4, C_5, C_6\}$, 设构件 C_5 是由构件 C_1, C_2 构成的复合构件,构件 C_6 由构件 C_3 组合而成。该系统满足 1.1 节提及的非功能需求使得系统顺利运

行。具体结构如图 1 所示。

3.1 认证系统非功能需求度量模型

1)确定认证系统构件的非功能需求可达矩阵

以图 1 中构件 C_1 为例,确定构件 C_1 中非功能需求设计结构矩阵,如表 1 所示。利用定义 2、3,其非功能需求邻接矩阵和可达矩阵分别为

$$MC_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$MC_1 R^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

同理,可得其他构件的非功能需求邻接矩阵 MC_i 和可达矩阵 $MC_i R^+ (i=2, 3, 4, 5, 6, 7)$ 。

由可达矩阵 $MC_1 R^+$ 可知,矩阵第一列元素 $MC_1 R_{2,1}^+, MC_1 R_{3,1}^+, MC_1 R_{4,1}^+, MC_1 R_{7,1}^+, MC_1 R_{8,1}^+$ 均为 1, 则非功能需求 nf_1 到非功能需求 $nf_2, nf_3, nf_4, nf_7, nf_8$ 可达,表明非功能需求 nf_1 直接或者间接影响非功能需求 $nf_2, nf_3, nf_4, nf_7, nf_8$ 。其他列推理相同;可达矩阵 $MC_1 R^+$ 第一、五、六行均为零,表明非功能需求 nf_1, nf_5, nf_6 均不受其他非功能需求影响。

2)确定认证系统各构件中非功能需求贡献值

由式(3)构件 C_1 中非功能需求的贡献值

$$MC_1 NF = C_1 NF \times MC_1 R^+ = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 4 & 3 & 3 & 0 & 3 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

各个非功能需求对构件 C_1 的贡献值按大小分别为: $nf_1 > nf_2 > nf_3 \geq nf_4 \geq nf_6 \geq nf_7 > nf_5 > nf_8$ 。同理可得其他构件中非功能需求的贡献值。

3)确定认证系统非功能需求度量值

由式(4), $MCNF = [MC_1NF, MC_2NF, \dots, MC_7NF]^T$ 。矩阵 $MCNF$ 表明非功能需求在各个构件中及整个系统中的贡献情况,计算矩阵 $MCNF$ 各行各列之和,记做 $\sum_{i=1}^8 nf_i$ 及 $\sum_{i=1}^7 C_i$, 则矩阵转变成基于构件与非功能需求贡献值阵列表,

如表 2 所示。

表 2 构件与非功能需求贡献值阵列表

	nf_1	nf_2	nf_3	nf_4	nf_5	nf_6	nf_7	nf_8	$\sum_{i=1}^8 nf_i$
C_1	5	4	3	3	0	3	3	0	21
C_2	0	5	3	1	0	0	3	3	15
C_3	0	0	3	0	0	3	3	0	9
C_4	4	0	0	4	0	0	0	4	12
C_5	4	2	1	1	0	4	3	0	15
C_6	0	1	3	0	0	5	5	0	14
C_7	7	6	6	4	4	4	4	6	41
$\sum_{i=1}^7 C_i$	20	18	19	13	4	19	21	13	127

由表 2 可知,构件 C_1 中各个非功能需求总贡献值为 21,占整个软件系统总贡献率的 $\frac{21}{127} \times 100\% = 16.54\%$,其他各行推理相同。各构件中非功能需求对整个系统的贡献值情况为 $C_7 > C_1 > C_5 \geq C_2 > C_6 > C_4 > C_3$ 。非功能需求 nf_1 对于整个系统总贡献值为 20,占有所有非功能需求贡献值的 $\frac{20}{127} \times 100\% = 15.75\%$;其他各列推理相同。各个非功能需求对整个系统的贡献值情况为 $nf_7 > nf_1 > nf_3 \geq nf_6 > nf_2 > nf_4 \geq nf_8 > nf_5$ 。

3.2 需求差异视角的非功能需求评估

若软件开发者确定各个构件的权重值为 (0.15, 0.10, 0.10, 0.12, 0.18, 0.15, 0.20), 利用式 (5), 则软件开发者认为软件非功能需求的度量值为 $A = 19.99$; 若软件用户赋予各个非功能需求的权重值为 (0.15, 0.15, 0.10, 0.05, 0.10, 0.15, 0.25, 0.05), 利用式 (6), 则软件用户确定的非功能需求度量值为 $B = 17.40$ 。利用式 (7) 有 $\tau = 0.8511$ 。

为了便于软件用户和专家的判定,结合该类软件的开发经验和实际应用环境,将该软件非功能需求分成 A、B、C、D、E 五个等级,各个等级对应的评价结果范围为:E 级 ($\tau < 0.6$)、D 级 ($0.6 \leq \tau < 0.7$)、C 级 ($0.7 \leq \tau < 0.8$)、B 级 ($0.8 \leq \tau < 0.9$)、A 级 ($0.9 \leq \tau$), τ 值越大,评估级别越高,说明用户对软件非功能需求的满意程度越高,软件质量越好,应用风险越低,用户直接使用的可能性越大,并假设用户对软件非功能需求的最低要求为级别 D。已得 $\tau = 0.8511$,属于 B 级,即评估认为该认证系统非功能需求能较好地满足用户需求,应用风险小,可以直接被用户使用。

为了进行比较研究,采用证据推理^[12]、改进证据推理^[13]两种方法对认证系统非功能需求进行评估,主要是因为这两种方法解决了在统一框架内定性指标的定量化问题。令 $\Omega = \{h_p, p = 1, \dots, 5\}$ 为系统非功能需求统一识别框架,各等级的效用为 $\nu_h = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$, 则以上两种方法在 Ω 上的可信度分别为 $m_1 = \{(h_4, 0.2004), (h_5, 0.7981)\}$ 和 $m_2 = \{(h_4, 0.2079), (h_5, 0.7866)\}$, 软件非功能需求评估值分别为 $\nu_1 = 0.8586, \nu_2 = 0.8535$, 对应本文定义的评估等级均为 B 级。

比较研究结果表明:a) $\nu_1 > \nu_2 > \tau$, 主要原因是证据推理法没有考虑非功能需求之间的相互关系和实现各种非功能需求的构件在软件中的不同地位及作用,没有将这两部分信息从实验结果中去除;b) $\nu_2 > \tau$, 改进证据推理方法虽然考虑了评估信息源相关性,但没有考虑构件在软件体系结构中的不同作用,导致结果偏离事实。由此可知,采用本模型可以获得更为准

确、合理的可信软件非功能需求评估。

4 结束语

本文的研究以基于构件的可信软件体系结构为基础,利用非功能需求之间的相互关系,间接度量了非功能需求,建立了一个统一框架内的软件非功能需求度量模型,从根本上解决了软件非功能需求评价的主观性、标准的不一致性,也便于可信软件非功能需求之间的相互比较。同时结合软件开发者和使用者在度量非功能需求时的不同需求,建立了一种用来评判软件非功能需求是否符合软件用户预期的方法,为可信软件非功能需求的评价、选择提供了客观依据。下一步将研究当用户对可信软件质量偏好变化导致非功能需求遵循预定规则、并按照一定目标形态变动时,可信软件非功能需求是否稳定、值得信任等问题。

参考文献:

- [1] ZAYARAZ G, THAMBIDURAI P, MADHU S. Software quality assurance through COSMIC FFP [J]. *ACM Sigsoft Software Engineering Notes*, 2005, 30(5): 1-5.
- [2] KASSAB M, ORMANDJIEVA O, DANEVA M. Non-functional requirements: size measurement and testing with COSMIC-FFP [C]// *Proc of International Conference on Software Process and Product Measurement*. Berlin: Springer, 2008: 168-182.
- [3] SHI H L, MA J, ZOU, F Y. Software dependability evaluation model based on fuzzy theory [C]// *Proc of International Conference on Computer Science and Information Technology*. 2008: 102-106.
- [4] MA Y F, ZHANG M. A computation model of trustworthy degree [C]// *Proc of International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops*. 2008: 523-526.
- [5] ZHANG Y, FANG B, XU C Y. Trustworthy metrics models for inter-network [J]. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 2008, 13(5): 547-552.
- [6] IMMONEN A, PALVIAINEN M. Trustworthiness evaluation and testing of open source components [C]// *Proc of the 7th International Conference on Quality Software*. 2007: 316-321.
- [7] VOAS J. Trusted software's holy grail [J]. *Software Quality Journal*, 2003, 11(1): 9-17.
- [8] ZHU Ming-xun, LUO Xin-xing, CHEN Xiao-hong, et al. A non-functional requirements tradeoff model in trustworthy software [J]. *Information Sciences*, 2012, 191: 61-75.
- [9] GB/T 16260-1996 信息技术、软件产品评价、质量描述及其使用指南 [S]. 2009.
- [10] CHUNG L, NIXON B A, YU E, et al. Non-functional requirements in software nonfunctional requirements: three experimental studies of a process-oriented approach [M]. 1st ed. Canada: Kluwer Academic Publishers, 2000: 58-62.
- [11] CEYDA G S, BARAC H. Fuzzy quality function deployment based methodology for acquiring enterprise software selection requirements [J]. *Expert System with Applications*, 2010, 37(4): 3415-3426.
- [12] GUO Min, YANG Jian-bo, CHIN K S, et al. The evidential reasoning approach for multi-attribute decision analysis under both fuzzy and interval uncertainty [J]. *Advances in Soft Computer*, 2008, 46: 129-140.
- [13] 杨善林, 丁帅, 付超. 考虑信息源相关的软件可信性评估模型 [J]. *中国管理科学*, 2009, 12(6): 163-169.