

# 基于ISM与AHP组合的需求优先级排序方法

湛浩旻 印桂生 赵蕴龙

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

**摘要** 当前需求优先级排序方法将用户需求放在同一层次上进行比较,然后设定优先级,而对需求层次性考虑不多。对此,从需求的层次性出发,提出以解释结构模型和层次分析法相结合的需求优先级排序方法,其中用解释结构模型对需求进行分层处理,然后对最上层的需求使用层次分析法进行需求优先级排序,最后给出案例分析。结果表明,该方法能够提高需求优先级设定的合理性,明显降低需求的比较次数,降低因需求导致项目失败的风险。

**关键词** 软件项目,软件需求,需求优先级,ISM技术,AHP方法

**中图分类号** TP311 **文献标识码** A

## Method of Prioritizing Requirements Based on the Combination of ISM and AHP

ZHAN Hao-min YIN Gui-sheng ZHAO Yun-long

(College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract** In the methods of current requirements prioritization, the user requirements are compared and prioritized on the same level, and the hierarchy of requirements is few considered. This paper proposed a method of prioritizing requirements based on the combination of ISM and AHP. First, the hierarchical model of software requirements was built with ISM. Next, the requirements of top level of the model were prioritize by analytical hierarchy process. Final, the case analysis was given. The results show that this method can improve the rationality of the prioritizing requirements, and reduce the times of comparing requirements, and reduce the failure probability of the project.

**Keywords** Software project, Software requirement, Requirement priority, ISM technology, AHP method

## 1 引言

每个受限制的软件项目都必须对所要求的产品功能定义相对优先级。在软件项目开始阶段,设定优先级有助于项目经理解决冲突、安排阶段性交付,并且做出必要的取舍<sup>[1]</sup>,有助于维护项目收益和提高项目的成功率。

需求优先级是指在软件开发生命周期中需求的实现或者交付次序。在早期研究中,需求优先级排序主要是通过层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)<sup>[2]</sup>、质量功能部署(quality function deployment, QFD)<sup>[3]</sup>等技术量化需求重要性,然后估算需求的成本,使用优化函数寻找成本限制条件下的重要性之和最大的需求组,并对剩余需求迭代使用优化函数,直到所有的需求都被排序为止;还有侧重风险驱动的迭代的需求优先级排序方法<sup>[4]</sup>等等。上述方法在进行需求排序时,是将需求放在同一层次上,而对需求间存在广泛的相关性<sup>[5]</sup>则考虑得不多。需求之间具有相关性,同时业务需求也具有原子性。需求相关性决定需求之间的依赖关系,使之不在同一层次上体现出系统的层次性,系统的层次性是系统的固有属性<sup>[6]</sup>。将所有需求放在同一层次上进行优先级比较,显然缺乏合理性。对用户而言,其关心的是业务需求的最上

层需求;而对开发者而言,其不仅关心最上层需求,还关心与之密切相关的一系列子需求,在这些子需求中,无论哪个需求失败,都会导致与之相关的高层需求无法实现,因此把这些需求不分层次放在一起进行优先级比较同样有一定缺陷。为此,本文提出了基于ISM与AHP组合的需求优先级排序方法,该方法能够突出需求的相关性,提高需求优先级设计的合理性。

## 2 相关技术

### 2.1 ISM模型

解释结构模型技术(Interpretative Structural Model, ISM)<sup>[7,8]</sup>是比较基本的系统建模技术,是美国J.沃菲尔德(John Warfield)教授于1973年将其作为分析复杂的社会经济系统结构问题的一种方法而开发的<sup>[7,8]</sup>。其基本思想是通过各种创造性技术,提取问题的构成要素,利用有向图、矩阵等工具和计算机技术,对要素及其相互关系等信息进行处理,最后用文字加以解释说明;明确问题的层次和整体结构,提高对问题的认识和理解程度;核心内容是通过可达矩阵的处理,建立系统问题的递阶结构模型。该技术广泛适用于认识处理各类社会经济系统问题,基本步骤为:①建立可达矩阵→

到稿日期:2012-04-22 返修日期:2012-07-14 本文受国家自然科学基金项目(61003235),黑龙江省重大科技攻关项目(GA04A501-2),黑龙江省自然科学基金项目(F200902)资助。

湛浩旻(1975-),男,博士生,工程师,CCF会员,主要研究领域为需求优化、需求获取;印桂生(1964-),男,博士,教授,主要研究领域为虚拟现实、智能计算;赵蕴龙(1975-),男,博士,副教授,主要研究领域为无线网络和移动计算技术。

②区域划分→③级位划分→④提取骨架矩阵→⑤最后绘制多级递阶有向图。

## 2.2 AHP 方法

美国运筹学家 Saaty(Thomas L. Saaty)在 20 世纪 70 年代初提出一种层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)<sup>[9,10]</sup>。AHP 就是把社会、经济以及科学领域的复杂问题中的各种因素,通过划分为相互联系的有序层次,根据对一定客观现实的判断,利用数学方法就每一层的全部元素的相对重要性给予相应权值,并通过排序的结果分析和解决问题的一种决策分析方法。该方法主要步骤有:①建立层次结构模型(依次为目标层、准则层、方案层)→②构造判断矩阵→③层次单排序→④层次总排序→⑤一致性检验。其中后 3 个步骤在整个过程中需要逐层进行,而且这些步骤通常要经过多次迭代才能完成。

## 3 基于 AHP 和 ISM 组合的需求优先级排序方法

ISM 技术和 AHP 方法是被广泛使用的技术。ISM 用于明确问题的层次和结构;AHP 用于分析问题的层次和各层要素,并在同一层次的各要素之间进行比较,计算出各要素的最终权值,但该技术的弱点是随着要素的增多,要素间的比较次数会显著增多,并且不一致性也会显著增加。结合这两种方法的优点,本文提出的基于 ISM 与 AHP 组合的需求优先级排序方法,首先采用解释结构模型技术对系统进行分层处理,使需求之间呈现出层次性;然后在最上层使用 AHP 技术对需求进行优先级排序。

分析软件系统的业务逻辑,从系统的功能结构图入手提取软件需求,对这些需求通过使用 ISM 模型技术建立层次模型,得出多级递阶有向图,并提取多级递阶有向图的最高层(第 1 层)需求作为方案层,以此为基础采用 AHP 技术,确定需求的优先级。该需求优先级排序构建过程如图 1 所示。

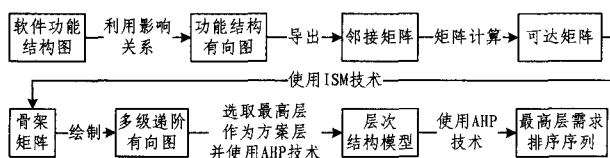


图 1 基于 AHP 和 ISM 组合的需求优先级排序过程

### (1) 影响关系

影响关系是二元关系的一种,即如果元素  $a$  对元素  $b$  有影响,用一条有向线段表示,箭头指向元素  $a$ ,记为  $a \rightarrow b$ 。确立软件功能结构图中的影响关系,然后用这种方式来绘制需求功能结构有向图。

### (2) 骨架矩阵

骨架矩阵的建立过程:首先通过可达矩阵建立每个元素的可达集(记为  $R(s_i)$ ,表示元素  $s_i$  可以到达的元素集合)、先行集(记为  $A(s_i)$ ,表示能够到达元素  $s_i$  的集合)、共同集(记为  $C(s_i)$ ,  $C(s_i) = R(s_i) \cap A(s_i)$ )以及起始集(只影响其它元素而不受其它元素影响的元素的集合,记为  $B(S)$ )。然后,任取  $b_u, b_v \in B(S)$ ,计算  $R(b_u) \cap R(b_v)$ ,如果其为空集,表明这两个集合不属于同一区域,按此方法判断  $B(S)$  的所有元素所属区域,完成区域分解。接下来,判断某同一区域内(所有元素集合记为  $P_j$ )满足  $C(s_i) = R(s_i)$  的所有元素  $L_1$ ,记为第 1

层,并计算  $P_j - L_1$ ;然后对  $P_j - L_1$  内的元素计算满足  $C(s_i) = R(s_i)$  的所有元素  $L_2$ ,如此递归,直至  $P_j$  内所有的元素均标记层次,从而完成级位分解。最后调整可达矩阵中每行的对应关系,层次的高元素排在矩阵上面的行,按顺序排列,并去掉相同的行,得到缩减矩阵  $M'$ ,计算  $M' - I - (M' - I)^2$  ( $I$  为单位矩阵),计算结果为骨架矩阵  $A'$ ,更详细的计算过程请参见文献[7,8]。根据骨架矩阵中绘制多级递阶有向图,按从上到下的次序标记层,最高层为第 1 层。

### (3) 选取最高层作为方案层并使用 AHP 技术

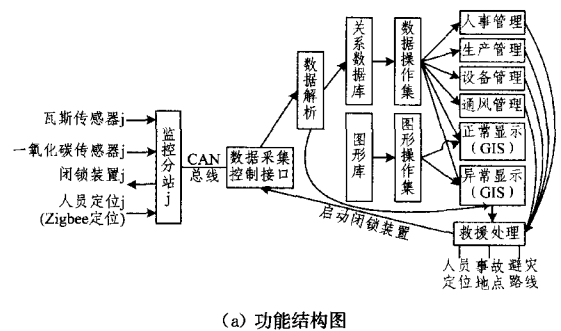
需求的相关性体现出系统的层次性,跨层次比较需求优先级,破坏了系统的层次性,因此不具有可比性。对用户而言,其关心的是业务需求,而这些业务需求的实现往往需要很多的子功能需求来辅助,这些与业务相关的子功能需求无论哪个未完成,该业务需求均会失败。因此,本文将与业务需求相关的子功能需求视为具有相同的优先级,所以,选取多级递阶有向图的最高层作为层次结构模型的方案层来使用 AHP 技术。

### (4) 最高层需求排列序列

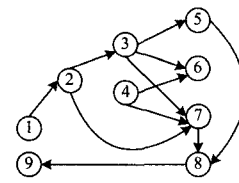
使用 AHP 技术,以多级递阶有向图中的第 1 层的所有元素(需求)作为方案层,建立目标层、准则层、方案层 3 层结构模型,然后计算得出需求排列序列。

## 4 案例分析

本文以煤矿井下安全生产与救援信息系统作为案例进行分析,该系统的功能结构图和结构有向图如图 2 所示。



(a) 功能结构图



(b) 结构有向图

图 2 煤矿井下救援系统的功能结构图和有向图

图 2 中描述的内容是将煤矿的井下瓦斯数据、一氧化碳和人员的定位等数据经过监控分站、数据采集接口以及数据解析程序将数据进行显示和处理。当出现异常,如井下瓦斯浓度超标时,系统将转入救援系统,关闭闭锁装置,显示相关井下作业人员的位置信息等。

救援操作调用的是采集控制模块中的控制模块,因此对采集控制模块进行分解,分解后的功能结构流程图如图 2(b) 所示:1-数据采集控制接口;2-数据解析;3-关系数据库及其操作;4 图形库及其操作;5-人事、生产、设备及通风管理;6-正常显示;7-异常显示;8-救援处理;9-控制模块。

### 4.1 生成多级递阶有向图

按照图 1 中的步骤建立邻接矩阵 A,如图 3(a)所示;利用公式计算可达矩阵 M,如图 3(b)所示;骨架矩阵以及多级递阶有向图的计算过程分别如图 3(c)和图 3(d)所示。

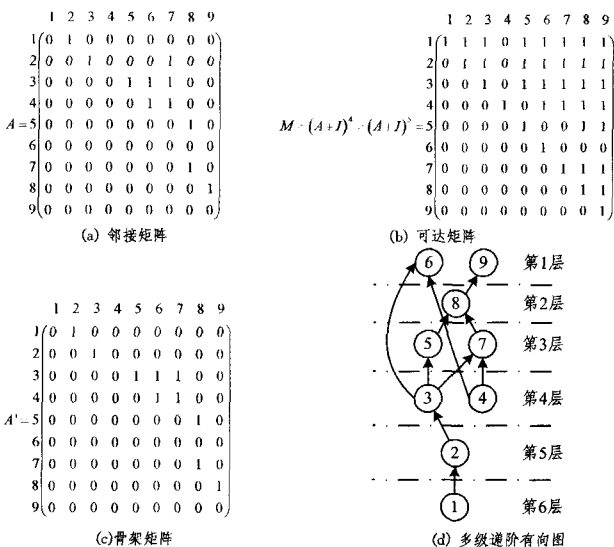
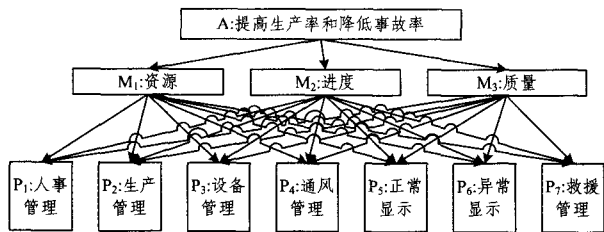


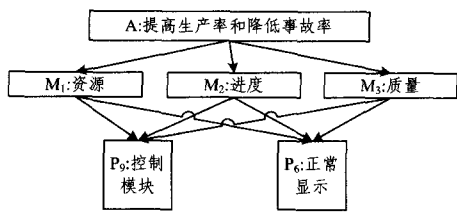
图 3 求解多级递阶有向图过程

### 4.2 排序软件需求

使用 ISM 对需求进行建模,最终生成多级递阶有向图,结果如图 3(d)所示。用户最关注的是图 3(d)中的第 1 层,该层只有正常显示和控制模块这两个需求。对第 1 层的两个要素使用 AHP 进行优先级排序,建立基于 AHP 的层级结构模型。为了进行比较,同时建立使用 ISM 和未使用 ISM 进行处理的 AHP 层次结构模型,模型如图 4 所示,并分别进行需求优先级排序。图 4(a)参照图 2(a)中的最右侧一列 7 个需求建立。图 4(b)参照图 3(d)中的第 1 层建立。



(a) 未使用 ISM 建模的层次结构模型



(b) ISM 建模后的层次结构模型

图 4 基于 AHP 的层级结构模型

构造目标层和准则层 A-M 因素判断矩阵,因为图 4(a)、4(b)准则层相同,因此构造一个准则层要素重要性判断矩阵即可,如表 1 所列。资源、进度以及质量的重要程度比较矩阵如表 2 所列,表中的每一项均由 3 个数字组成,分别对应着资源、进度以及质量的重要程度比较值。表中的数据均根据历史项目的经验数据得出。

表 1 准则层判断矩阵

A-M	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	说明
M <sub>1</sub>	1	1/5	1/3	1-表示进度要素间一样重要;
M <sub>2</sub>	5	1	3	3-表示质量比资源重要一点;反过来为 1/3
M <sub>3</sub>	3	1/3	1	5-表示进度比资源重要;反过来比较为 1/5

表 2 资源、进度以及质量的重要程度比较的判断矩阵

M <sub>1</sub> -3-P	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>
P <sub>1</sub>	1,1,1	1,3,1	1,3,1	1,1,1	1/3,1,1/3	1/5,1/3,1/5	1/7,1/7,1/7
P <sub>2</sub>	1,1/3,1	1,1,1	1,1,1	1,1/3,1	1/3,1/3,1/3	1/5,1/5,1/5	1/7,1/9,1/7
P <sub>3</sub>	1,1/3,1	1,1,1	1,1,1	1,1/3,1	1/3,1/3,1/3	1/5,1/5,1/5	1/7,1/9,1/7
P <sub>4</sub>	1,1,1	1,3,1	1,3,1	1,1,1	1/3,1/3,1/3	1/5,1/3,1/5	1/7,1/7,1/7
P <sub>5</sub>	3,1,3	3,3,3	3,3,3	3,3,3	1,1,1	1/3,1/3,1/3	1/5,1/5,1/5
P <sub>6</sub>	5,3,5	5,5,5	5,5,5	5,3,5	3,3,3	1,1,1	1/3,1/3,1/3
P <sub>7</sub>	7,7,7	7,9,7	7,9,7	7,7,7	5,5,5	3,3,3	1,1,1

接下来,采用和积法计算各个判断矩阵最大特征根和所对应的特征向量或权重向量,并检验一致性。方法的详细计算过程请参考文献[9,10],计算结果如表 3 所列。

表 3 未使用 ISM 的需求权重计算

	M	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	权重
P	0.1062	0.6333	0.2605	0.1062	计算结果
P <sub>1</sub>	0.0499	0.0857	0.0499	0.0499	0.0726
P <sub>2</sub>	0.0499	0.0353	0.0499	0.0499	0.0407
P <sub>3</sub>	0.0499	0.0353	0.0499	0.0499	0.0407
P <sub>4</sub>	0.0499	0.0770	0.0499	0.0499	0.0671
P <sub>5</sub>	0.1269	0.1079	0.1269	0.1269	0.1149
P <sub>6</sub>	0.2423	0.2046	0.2423	0.2423	0.2184
P <sub>7</sub>	0.4310	0.4541	0.4310	0.4310	0.4456

使用 ISM 技术后,进行需求总排序的计算。方案层元素只有 P<sub>6</sub>(正常显示)和 P<sub>9</sub>(控制模块)两个元素,它们相对于资源、进度以及质量的重要程度的比较结果分别为:1/3,1/5,1/5。权重计算结果如表 4 所列。

表 4 使用 ISM 的需求权重计算

	M	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	权重
P	0.1062	0.6333	0.2605	0.1062	计算结果
P <sub>6</sub>	0.2500	0.1667	0.1667	0.1667	0.1755
P <sub>9</sub>	0.7500	0.8333	0.8333	0.8333	0.8245

根据表 3 可以得出优先级排序关系:P<sub>7</sub>>P<sub>6</sub>>P<sub>5</sub>>P<sub>1</sub>>P<sub>4</sub>>P<sub>2</sub>>P<sub>3</sub>,由表 4 得出优先级排序关系:P<sub>9</sub>>P<sub>6</sub>,从需求的相关性和业务需求的原子性出发,P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>、P<sub>5</sub>、P<sub>7</sub> 以及 P<sub>8</sub> 中无论哪个需求未完成,均会导致业务需求 P<sub>9</sub> 的失败,因此将 P<sub>9</sub> 与 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>、P<sub>5</sub>、P<sub>7</sub> 以及 P<sub>8</sub> 设置为相同的优先级。

### 4.3 计算需求比较次数与分析

以图 4(a)的三层结构为例,在准则层中的所有要素,需要相对目标层 A 进行比较,例如首先比较 M<sub>1</sub> 与 M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>,然后比较 M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub>。在方案层中,P<sub>1</sub> 首先要相对于 M<sub>1</sub>,分别和 P<sub>2</sub>-P<sub>7</sub> 进行比较,P<sub>2</sub> 也要相对 M<sub>1</sub> 分别和 P<sub>3</sub>-P<sub>7</sub> 进行比较,以此类推完成方案层其它要素相对于 M<sub>1</sub> 的比较,接下来完成方案层所有元素相对于 M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub> 的比较。经过分析和

(下转第 243 页)

- Modeling Methods[J]. Systems Engineering, 2009, 12(3)
- [8] Hästbacka D, Vepsäläinen T, Kuikka S. Model-driven development of industrial process control applications[J]. The Journal of Systems and Software, 2011(84):1100-1113
- [9] Robert F, Bernhard R. Model-driven development of complex software: A research roadmap[C]//IEEE Comp Soc Tech Council Software Engn. ACM SIGSOFT, May 2007: 23-25
- [10] Uchitel S, Kramer J, Magee J. Incremental Elaboration of Scenarios-Based Specifications and Behavior Models Using Implied Scenarios[J]. ACM Transactions on Software Engineering and Methodologies, 2004, 13(1): 37-85
- [11] H Chao-jung, H Chin-yu. An Adaptive Reliability Analysis Using Path Testing for Complex Component-Based Software Systems[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2011, 60(1): 158-170
- [12] 魏颖. 基于体系结构的软件可靠性评估[J]. 光学精密工程, 2010, 18(2): 485-490
- [13] Gokhale S S. Architecture-based software reliability analysis: Overview and limitations[J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2007, 4(1): 32-40
- [14] Pettit R G I V, Goma H. Improving the reliability of concurrent object-oriented software designs—an approach using colored Petri nets and UML[C]//9th IEEE International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems. Anacapri, ITALY, OCT 01-03, 2003
- [15] Rodrigues G, Rosenblum D, Uchitel S. Using Scenarios to Predict the Reliability of Concurrent Component-Based Software Systems[C]//FASE 2005, LNCS 3442. 2005: 111-126
- [16] Kharboutly R A E L, Gokhale S S, Ammar R A. Architecture-based software reliability analysis incorporating concurrency. International Journal of Reliability[J]. Quality and Safety Engineering, 2007, 14(5): 479-499
- [17] TY. 模型驱动软件开发与工程的现状[EB/OL]. 企业工程论坛. <http://www.ee-forum.org/pub/ty/2011-11-p3013.html>, 2011-11-08
- [18] Teppola S, Parviainen P, Takalo J. Challenges in the deployment of model driven development[C]//4th International Conference on Software Engineering Advances. 2009
- [19] 沈春山, 李云飞, 蔡永娟, 等. 面向广泛互操作的传感数据模型研究[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(6)

(上接第 227 页)

推导可以得出需求比较次数的计算公式, 如式(1)所示。

$$[m \times (m-1)/2] + m \times [p \times (p-1)/2] \quad (1)$$

式中,  $m$  表示准则层中的要素个数,  $p$  表示方案层的要素个数。在图 4(a)中, 准则层包括 3 个元素, 方案层有 7 个需求元素, 代入式(1)求得需求比较次数为 66。图 4(b)中准则层的要素个数同为 3 个, 方案层只有 2 个元素, 代入式(1)求得需求比较次数为 6。

通过对比需求的比较次数可看出, 使用和未使用 ISM 技术进行处理有显著差别, 使用前的需求比较次数为 66, 而使用后的比较次数只有 6, 因此使用 AHP 技术在进行需求优先级排序过程中, 可以明显降低比较次数。

从上面两个不同的排序结果可以看出,  $P_9$  与  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$ 、 $P_7$  以及  $P_8$  优先级相同, 在这几个需求当中无论哪个需求失败均会导致用户关心的需求无法实现, 因此设置了相同的优先级, 充分体现出了需求层次性和业务需求的原子性, 需求优先级的设定相对合理。

**结束语** 本文提出一种基于 ISM 和 AHP 的需求优先级排序方法, 其通过建立系统的多级递阶有向图, 对软件需求的结构进行调整, 达到优化的目的。在此基础上, 使用 AHP 技术进行优先级排序, 从排序结果可以看出, 在处于最高层次的所有需求中, 与之相关的所有下层需求具有同等的需求优先, 这就满足了用户业务需求原子性的要求。需求经过分层处理后, 使得最高层的需求数量明显减少, 在使用 AHP 时, 判断矩阵的维数明显降低, 计算复杂度显著降低, 有效回避了求解大量需求时出现的 NP 难题, 同时也降低了出现不一致的可能性。从软件系统来看, 由于层次性的系统固有属性, 因此对系统进行层次结构分析, 可为划定优先级做准备, 该方法具有很好的通用性。

本文提出的对需求的优先级排序的方法适用于软件开发初始阶段软件需求相对稳定的项目, 没有考虑需求频繁变更

的情况, 而在实际开发中需求的获取和实现均是一个迭代的方式。下一步的工作将考虑需求变更频繁情况下的需求优先级设定这一问题。

## 参 考 文 献

- [1] Wiegers Karl E. Software Requirements[M]. Microsoft Press, 2003: 247
- [2] Günther R, Greer D. Quantitative Studies in Software Release Planning under Risk and Resource Constraints[C]//Proceedings of the 2003 International Symposium on Empirical Software Engineering (ISESE'03). 2003
- [3] Tran Tuyet-lan, Sherif Joseph S. Quality function deployment (QFD): an effective technique for requirements acquisition and reuse[C]//Montreal, Can. Proceedings of the 2nd IEEE International Software Engineering Standards Symposium. 1995: 191-200
- [4] 黄蒙, 舒风管, 李明树. 一种风险驱动的迭代开发需求优先级排序方法[J]. 软件学报, 2006(12)
- [5] Carlshamre P, Sandahl K, Lindvall M, et al. An industrial survey of requirements interdependencies in software product release planning[C]// Toronto, Ont, Canada. 5th IEEE International Symposium on Requirements Engineering. August 2001: 84-91
- [6] 周德群, 方志耕, 潘东旭, 等. 系统工程概论[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [7] Warfield John N. Societal systems, planning, policy, and complexity[M]. John Wiley & Sons Inc, 1976
- [8] 王众托. 系统工程引论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 79-105
- [9] Saaty Thomas L. Modeling unstructured decision problems—the theory of analytical hierarchies[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1978, 20(3): 147-158
- [10] 黄贯虹, 方刚. 系统工程方法与应用[M]. 广州: 暨南大学出版社, 2005: 78-118