

软件度量筛选研究

侯红^{1,2}, 张娟², 宋擒豹¹

HOU Hong^{1,2}, ZHANG Juan², SONG Qin-bao¹

1.西安交通大学 计算机软件研究所, 西安 710049

2.西北大学 软件工程研究所, 西安 710127

1.Institute of Computer Software, Xi'an Jiatong University, Xi'an 710049, China

2.Institute of Software Engineering, Northwest University, Xi'an 710127, China

E-mail: hhong66@sina.com

HOU Hong, ZHANG Juan, SONG Qin-bao. Software measurement triage research. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(26): 34-39.

Abstract: Measurement selection is one of the issues during measurement implementation. Based on PSM measurement selection criteria and GQ(I)M model, it proposes a Measurement Triage Model (MTM) based on the theory of fuzzy group decision-making. According to the MTM, basic measurements derived from GQ(I)M will be assessed by stakeholders using assessment indexes, verified to see the measurement goal achievement and deleted once redundant. Then a basic measurement set is produced to satisfy all the stakeholders and solve the problem mentioned above in tune. A case study is quoted to illustrate how the MTM helps an organization make measurement triage.

Key words: fuzzy group-decision making; GQ(I)M model; Practical Software Measurement (PSM); measurement triage; stakeholder

摘要:根据度量需求选择合适的度量是度量实施中的一大问题。基于 PSM 给出的度量选择准则和 GQ(I)M 模型, 提出基于模糊群决策理论的度量筛选模型 (MTM)。该模型从利益攸关者角度出发, 根据评估指标, 对根据 GQ(I)M 模型得到的基度量进行评估, 然后验证度量目标的可达性并删除冗余的基度量, 最终得到利益攸关者一致满意的无冗余的基度量集, 实现度量的科学筛选。最后通过案例演示模型在度量筛选中的应用。

关键词:模糊群决策; GQ(I)M 模型; 实用软件度量; 度量筛选; 利益攸关者

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.26.010 **文章编号:** 1002-8331(2009)26-0034-06 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP311.5

1 引言

软件度量作为一项基本的软件工程实践, 已经被包括在软件工程研究所 (SEI) 的能力成熟度模型集成 (CMMI) 的 2 级成熟度需求及其相关的商业软件过程标准中。虽然软件度量可以保证软件开发中的高效率、低成本、高质量^[1], 但是度量成功的案例并不多。文献[2-4]对度量实施过程中存在的问题进行总结, 发现度量困境中的多数问题与度量需求定义相关, 因此如何从组织目标中识别出信息需求, 进而为软件度量的利益攸关者提供有价值的信息产品, 为其做出客观、正确的决策提供支持, 成为组织实施度量时面临的关键问题。

针对此问题, 1984 年 Basili 提出 GQM (Goal-Question-Metric) 模型^[5]。GQM 保证度量的选择与组织的信息需求之间的一致性。卡内基梅隆大学软件工程研究所软件工程度量和分析组 (SEMA) 在 GQM 模型的基础上提出利用 GQ(I)M 模型进行与目标相关的度量的定义^[6]。

GQ(I)M 模型在 Question 层和 Metric 层之间增加指示器层, 即 Indicator。指示器是一个或多个度量的综合, 是对项目属性、软件产品或软件过程的某一方面特征的反映。实用软件度量 PSM (Practical Software Measurement)^[7-9] 是对 ISO/IEC 15939^[10] 的具体实现, 提出信息驱动的度量方法和度量过程模型。这些模型为度量筛选提供了理论和过程支持, 但并没有定义具体的操作方法。

在筛选方法方面, 有很多已经很成熟的决策理论可以借鉴。基于语言评价信息的群决策理论与方法的研究已引起国内外学者的广泛关注, 并取得显著成果和广泛应用^[11-15], 但需要指出的是, 目前基于语言评价信息的群决策方法大多运用 OWA 算子、LWD 算子、T-WAA 和 LOWA 算子来进行群的集结和方案优选^[12, 16-20], 计算方法较为复杂。1977 年 Baas 和 Kwakernaak 提出经典的模糊 MADM 方法后, 模糊理论得到了广泛发展。文献[21-22]对模糊加权平均法进行研究, 提出众多不同算法,

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) (the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2007AA010305);

国家自然科学基金重点项目 (the Key National Natural Science Foundation of China under Grant No.90718024/F020202)。

作者简介: 侯红 (1967-), 女, 博士后, 副教授, 主要从事软件度量、 workflow 的研究; 张娟 (1983-), 女, 硕士研究生, 从事软件度量的研究; 宋擒豹 (1966-), 博士, 教授, 主要研究领域为数据挖掘与软件工程的融合。

收稿日期: 2008-10-23

修回日期: 2008-12-26

使模糊集理论这在多属性决策分析中得到了广泛的应用。

因为影响度量的评估因素是定性的、模糊的,很难直接用统计的方法确定这些因素的具体判断值,同时度量评估需要在利益攸关者之间达成共识,所以需要选择模糊的或基于语言变量的群决策理论。结合这两种方法,利用基于语言评价信息的群决策理论,定义语言变量及其对应的三角模糊数。然后采用模糊理论中的模糊加权平均法,实现算子的集结,最终实现度量的筛选。

2 度量筛选模型构建

2.1 相关概念

为了更好地定义度量构造筛选模型,下面给出几个基本概念。

定义1 基度量(B)

基度量是由一个指定的度量方法定义的对单个属性的度量。执行度量方法产生一个度量的值。一个基度量在功能上独立于所有度量,并获得单个属性的值。其数学描述为 $Y_i=f_1(X_i)$, f_1 为度量方法, X_i 为被度量的属性, Y_i 为目标基度量值。

定义2 派生度量(D)

派生度量是一种度量或数量,它被定义为两个或多个基度量或派生度量的一个函数。派生度量获取多于一个属性的信息。其数学描述为 $Z_i=f_2(Y_{ii}, Z_1, \dots)$, Z_i 为目标派生度量值, f_2 为度量函数, Y_{ii} 为基度量值, Z_1 为基度量或派生度量值。

定义3 指示器(I)

指示器是度量分析和决策制定的基础。它被定义为两个或多个基度量或派生度量的算法或计算。其数学描述为 $W_i=f_3(Y_i, Z_i, \dots)$, W_i 为指示器的度量值, f_3 为分析模型, Y_i 为基度量值, Z_i 为基度量或派生度量值。

定义4 度量元(M)

基度量和派生度量合称为度量元。派生度量又可定义为两个或多个度量元的一个函数。指示器也可定义为两个或多个度量元的算法或计算。

定义5 派生关系(DR)

定义派生度量与定义它的函数中的度量元之间的关系,指示器与定义它的分析模型中的度量元之间的关系为派生关系(DR)。可见派生关系 DR 为定义派生度量的度量函数中的度量元与派生度量或指示器之间的二元关系,即 $DR=<D/I, M_s>$, 其中 D 为派生度量, I 为指示器, M_s 为定义派生度量的特定函数或特定指示器的分析模型中的所有度量元(称之为度量元簇), DR 为派生度量(D)或指示器(I)与度量元簇(M_s)之间的派生关系。派生度量或指示器的度量元簇集 DM_s 定义为其度量元簇的集合。依次求出度量元簇 M_s 中的各个度量元的度量元簇,直到其度量元簇中的所有度量元均为基度量,由此所得到的度量元簇为派生度量或指示器的基度量簇。基度量的度量元簇是其本身。且基度量簇与派生度量和指示器之间也存在派生关系。基度量簇集定义为基度量簇的并集。派生关系是反自反的,传递的,反对称的。

例如派生度量 $D1$ 可由 $f_{11}(D2, B1)$ 定义和 $f_{12}(D3, B2)$, $D2$ 由 $f_2(B3, B4)$ 定义的, $D3$ 由 $f_3(B5, B6)$ 定义(见图1), 则 $D1$ 的度量元簇为 $(D2, B1)$ 和 $(D3, B2)$, 其基度量簇为 $(B1, B3, B4)$ 和

$(B2, B5, B6)$, 其度量元簇集为 $\{(D2, B1), (D3, B2)\}$, 基度量簇集为 $\{(B1, B3, B4), (B2, B5, B6)\}$; $D2$ 的度量元簇和基度量簇均为 $(B3, B4)$, 度量元簇集和基度量簇集均为 $\{(B3, B4)\}$; $D3$ 的度量元簇和基度量簇均为 $(B5, B6)$, 度量元簇集和基度量簇集均为 $\{(B5, B6)\}$; $B1, B2, B3, B4, B5, B6$ 的度量元簇和基度量簇分别为 $(B1), (B2), (B3), (B4), (B5), (B6)$, 其度量元簇集和基度量簇集分别为 $\{(B1)\}, \{(B2)\}, \{(B3)\}, \{(B4)\}, \{(B5)\}, \{(B6)\}$ 。

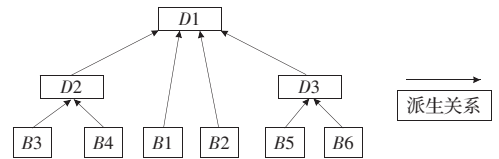


图1 度量派生关系

定义6 度量目标的可达性

在 GQ(I)M 模型中, G 为度量目标, 问题集合 $Q=\{Q_x\}$, $x=1, 2, \dots, v1$, 与问题 Q_x 相关的指示器集合 $I(Q_x)=\{I_y^x\}$, $y=1, 2, \dots, v2$, 指示器 I_y^x 的度量元簇集 $M(I_y^x)=\{M_z^{xy}\}$, $z=1, 2, \dots, v3$, 其中 M_z^{xy} 为指示器 I_y^x 的度量元簇。假设 $B=\{b_{tx}\}$, $tx=1, 2, \dots, v4$, b_{tx} 为基度量, 如果存在一个 $B_{tx} \subseteq B$ 使得对于 $\forall Q_x \in Q$, 都有 $(\exists I_y^x \in I(Q_x))(\exists M_z^{xy} \in M(I_y^x))(<B_{tx}, M_z^{xy}> \in DR)$, 那么称对于基度量集 B , 度量目标 G 是可达的。

定义7 利益攸关者

利益攸关者在项目管理中指的是参与项目的人、组织或受项目影响的人或组织。该文中把利益攸关者定义为参与度量的人、组织或受度量影响的人或组织。

定义8 度量筛选模型(MTM)

度量筛选模型(MTM)定义为 $MTM=<B_s, C_s, S_s, T_{Strategy}, V_{Strategy}>$ 。其中

(1) 基度量集 $B_s=\{b_i\}$, $i=1, 2, \dots, m$ 中定义的是评估的对象-基度量。

(2) 评估指标集 C_s 是度量筛选指标, 筛选指标 $C_{kl} \in C_s$, $k=1, 2, \dots, 5$, 当 $l=0$ 分别表示从 PSM 度量选择准则中获取的 5 个一级度量筛选指标; t 为指标 k 对应的二级子指标的个数, $<k, t>=\{<1, 4>, <2, 4>, <3, 2>, <4, 4>, <5, 3>\}$, 当 $l=1, 2, \dots, t$ 是第 k 评估指标对应的扩展指标。

(3) 利益攸关者集 S_s 是与度量相关的利益攸关者集, 利益攸关者 $S_u \in S_s$, 根据内容 $u=1, 2, \dots, 5$ 分别表示度量专家、高级管理层、项目经理、度量参与者、度量用户。

(4) $T_{Strategy}$ 表示一个度量筛选算法, 描述了利益攸关者根据筛选指标评估基度量, 然后根据阈值, 筛选出达标的基度量。

(5) $V_{Strategy}$ 表示的是度量筛选结果的验证算法, 其根据筛选出的基度量集验证度量目标的可达性, 并从筛选结果中删除冗余的基度量。

2.2 度量构造筛选模型(MTM)

度量构造筛选模型(MTM)基于 GQ(I)M 和 PSM 模型, 生成度量和度量评估指标, 并从利益攸关者的角度出发, 强调各利益攸关者对度量筛选的不同关注, 形成面向不同利益攸关者的度量筛选模型。度量筛选体系如图2所示, 该体系是自底向

上,顺序执行的。图中最下面一层是 GQ(I)M 模型。基于 GQ(I)M 模型,对度量目标逐步细化为可以量化的问题、设计解决问题的指示器和构造指示器的备选度量元集。其上层是需要筛选的基度量集。根据指示器的备选度量元集,求出各备选度量元的基度量簇和基度量簇集,进而得到备选度量元的基度量集。接着上面一层是通过细化 PSM 度量选择准则获得的度量评估一级指标(二级指标详见表 1)。再上层是与度量相关的不同利益攸关者,各利益攸关者评估基度量在不同评估指标上的表现,并根据不同利益攸关者对基度量的不同关注度调整,综合各个利益攸关者的评估结果,获得各基度量的综合评估结果,然后根据阈值,筛选出达标的基度量。最后根据基度量验证算法,验证度量目标的可达性,并删除冗余的度量,得到最满意的且无冗余的基度量集,即其上层“最满意且无冗余的基度量集”。然后执行度量,获取度量数据,验证度量目标,从而满足组织的信息需求。下面将分别介绍筛选模型的各个部分。

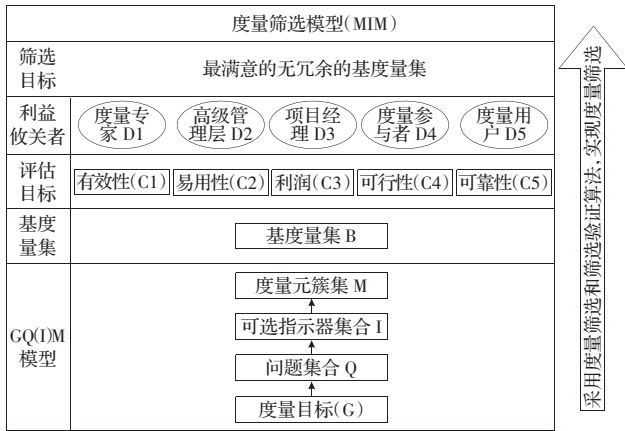


图2 度量构造筛选体系

2.3 基度量集(B_s)

软件过程、产品、资源有成千上万的方面可以度量,而度量的实施应该从最小的集合开始,因此需要标示高优先级的度量需求。假定度量需求的优先级已经确定,接下来需要做的就是根据度量需求选择度量并执行度量。GQ(I)M 模型为实现管理目标设计了一整套的度量体系,帮助实现度量的剪裁和整合。基于 GQ(I)M 模型,首先根据高优先级的度量需求定义度量目标,然后通过回答问题的形式来衡量这些目标是否被实现,将一个模糊的、抽象的目标,分解成具体的、可测量的问题以及与问题对应的可选指示器,即度量目标(G),问题集合 $Q=\{Q_x\}$, $x=1,2,\dots,v1$, 与问题 Q_x 相关的指示器集合 $I(Q_x)=\{I_y^x\}$, $y=1,2,\dots,v2$ 。根据度量数据库和经验数据库,导出指示器 I_y^x 的度量元簇 M_z^{xy} 和度量元簇集 $M(I_w^x)=\{I_y^x\}$, 其中 $x=1,2,\dots,v1, y=1,2,\dots,v2, z=1,2,\dots,v3$ 。然后再导出 M_z^{xy} 对应的基度量簇 B_v^{xy} 和基度量簇集 $B(I_y^x)=\{B_v^{xy}\}$, $v=1,2,\dots,v5, x=1,2,\dots,v1, y=1,2,\dots,v2, z=1,2,\dots,v3$ 。

定义 9 $B_s = \bigcup B_v^{xy}, v=1,2,\dots,v5, x=1,2,\dots,v1, y=1,2,\dots,v2, z=1,2,\dots,v3$ 。

定义 10 b_i 为 B_s 集合中的元素,即 $B_s = \{b_i\}, i=1,2,\dots,m_0$ 。

2.4 利益攸关者集合(S_s)

不同的利益攸关者对度量有不同的看法,对不同度量评估指标有不同的关注度,在进行度量评估时,应就具体的度量在不同的利益攸关者之间达成一致的意见。根据利益攸关者在度量时所起的作用,把利益攸关者分为度量专家、项目经理、高级管理者、度量参与者、度量用户。度量专家定义度量,并为度量的执行提供指导。项目经理是度量执行的督导者,没有项目经理的支持,度量无法进行。高级管理者为度量提供资源,协调项目组之间的关系。度量参与者是指度量数据的收集,分析人员,他们直接关系到度量实施的效果和成败。度量用户是度量结果的使用者,度量结果的质量直接影响度量用户的决策。其中度量用户更关注度量的可行性和易用性,度量专家关注度量的可靠性和有效性,项目经理关注度量的利润,可行性,高级管理者关注度量的利润。在度量评估时,如果不考虑利益攸关者对评估指标的不同关注度,则评估结果无法体现利益攸关者对度量的不同满意程度,导致度量评估失效。

2.5 评估指标集合(C_s)

准确全面的度量评估指标是评估的基础,建立指标之前首先要明确需要解决的问题和要达到的目标。在度量筛选中,希望量化评估度量,因此需要选择能够准确全面地描述度量各种特性的指标体系。PSM 所给出的选择和评估指标,是在实践中得到检验的,正确的指标。用 5 个大指标和 18 个子指标对 PSM 给出的指标进行了概括和细化(见表 1),为度量评估提供了一个全面的、准确的指标体系。

表 1 度量评估指标表

指标	子指标	解释
有效性 (C1)	及时性(C11)	度量数据收集的频率
	适用性(C12)	度量对度量目标的符合程度
	相关性(C13)	度量可以满足的其他度量目标的个数
	有用性(C14)	度量对度量目标的影响程度
易用性 (C2)	易理解性(C21)	度量定义简明、无二义
	易获性(C22)	度量数据可以直接获取
	易控制性(C23)	度量涉及的人员结构简单,度量规程易操作
	易观察性(C24)	度量所涉及的参数少,参数之间的关系简单
利润 (C3)	成本(C31)	度量的投资和运作成本
	收益(C32)	如果标示和回避的问题和风险发生了,将会带来的花费
可行性 (C4)	过程支持度(C41)	根据过程成熟度,判断过程对度量的支持能力
	技术支持度(C42)	组织的技术构成,对度量的支持程度
	组织支持度(C43)	组织的文化、资源、管理层对度量的支持程度
可靠性 (C5)	客观性(C51)	度量数据是对被度量属性的真实反映(度量方法标准)
	权威性(C52)	度量的参与者是胜任的、没有偏见的
	可证实性(C53)	重复应用该度量方法,可以产生一致性数据的程度
	完整性(C54)	度量方法、过程、手段定义严谨、一致
	准确性(C55)	度量是对被度量属性的表示及表示方式是准确的

但是度量的评估具有不确定性,因为影响度量的评估因素是定性的、模糊的,很难直接用统计的方法确定这些因素的具体判断值。所以在度量的评估过程中,适合在构建一套准确、全面的指标体系的基础上运用模糊数学进行处理。为了使定性指标值尽量反映客观实际,采用三角模糊数方式表示,该类指标值以语言变量的形式表示,并根据一定的规则将语言变量转变为对应的三角模糊数;评估指标的语言变量及其对应的三角模糊数。如表 2 所示。其中成本和收益的评估,由利益攸关者根据度量专家提供的成本和收益预测值给出定性判断。

表2 评估指标的语言变量及其三角模糊数

序号	指标的语言变量	对应的三角模糊数
1	不满意(P)	(0.0,0.0,0.1)
2	很不满意(VP)	(0.0,0.1,0.3)
3	不太满意(MP)	(0.1,0.3,0.5)
4	一般(M)	(0.3,0.5,0.7)
5	满意(G)	(0.5,0.7,0.9)
6	比较满意(G)	(0.7,0.9,1.0)
7	很满意(VG)	(1.0,1.0,1.0)

2.6 度量筛选算法($T_{Strategy}$)

图3 将给出度量筛选算法流程图。

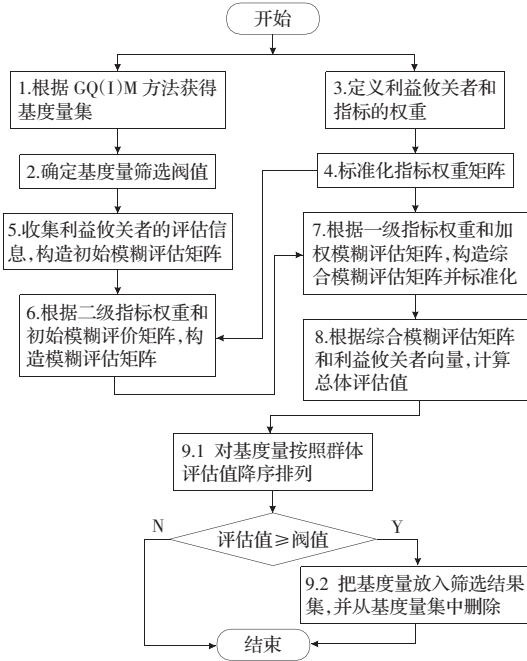


图3 度量构造筛选算法流程图

度量筛选算法的具体步骤如下:

步骤1 基于GQ(I)M模型,导出基度量集 $B_s = \{b_i\}, i=1, 2, \dots, m$ 。

步骤2 确定基度量筛选的阈值 s 。

步骤3 确定利益攸关者及指标的权重。

由于利益攸关者知识、文化背景、角色的不同,其在度量评估过程中权重也会有所不同。现有的权重确定方法分为主观、客观和主客观结合法。由于主客观权重法,简单易用,所以采用主客观权重法,即由组织给出利益攸关者的权重向量 $W^s = (w_1^s, w_2^s, \dots, w_5^s)$,其中 w_1^s 表示利益攸关者1即度量专家的权重, $\sum_{u=1}^5 W_u^s = 1$ 。指标权重在某种程度上体现了利益攸关者对指标重要性的主观评估。由于不同的利益攸关者对指标重要性有不同的评估,为了体现评估的主观性和保持信息的完整性,定义指标权重矩阵,表示利益攸关者对度量指标的不同重视程度。指标权重矩阵 $W_c = (a_{ukl})$,其中 a_{ukl} 表示利益攸关者 $S_u \in S_s$ 对评估指标 $C_{kl} \in C_s$ 的重要性评估。评估指标的语言变量为{很不重要,不重要,不太重要,一般,重要,比较重要,很重要},语言变量对应的三角模糊数与表2对应。

步骤4 标准化指标权重矩阵。

对指标权重矩阵进行标准化,获得二级指标对一级指标的相对重要性和一级指标对度量评估的相对重要性。

由于 W_c 为模糊矩阵,所以标准化权重时,应遵循文献[23]中定义的模糊运算法则。

对于指标 $C_{kl}, l=0$,即一级指标,其标准化权重为:

$$w_{ukl} = \frac{a_{ukl}}{\sum_{k=1}^5 a_{ukl}}, u=1, 2, \dots, 5$$

对于指标 $C_{kl}, l=1, 2, \dots, t$,即第 k 个指标的二级指标 l ,其标准化权重为:

$$w_{ukl} = \frac{a_{ukl}}{\sum_{l=1}^t a_{ukl}}, u=1, 2, \dots, 5$$

$$\langle k, t \rangle = \{ \langle 1, 4 \rangle, \langle 2, 4 \rangle, \langle 3, 2 \rangle, \langle 4, 3 \rangle, \langle 5, 5 \rangle \}$$

步骤5 收集利益攸关者的评估信息,构造初始模糊评估矩阵 $C_{ikl}^u = (c_{ikl}^u)$ 。

初始模糊评估矩阵 $C_{ikl}^u = (c_{ikl}^u), u=1, 2, \dots, 5, i=1, 2, \dots, m$,其中 c_{ikl}^u 是利益攸关者 $S_u \in S_s$ 对基度量 $b_i \in B_s$ 在评估指标 $C_{kl} \in C_s$ 方面的评估值。由于模糊评估矩阵采用统一量纲,即表2中的三角模糊数,所以初始模糊矩阵不需要标准化处理。

步骤6 构造加权模糊评估矩阵 $R_{ik}^u = (r_{ik}^u)$ 。

构造加权模糊评估矩阵 $R_{ik}^u = (r_{ik}^u), u=1, 2, \dots, 5, i=1, 2, \dots, m, k=1, 2, \dots, 5$,其中 r_{ik}^u 为利益攸关者 $S_u \in S_s$ 对基度量 $b_i \in B_s$ 在评估指标 $C_k \in C_s$ 方面的加权评估值。 r_{ik}^u 定义为:

$$r_{ik}^u = \sum_{l=1}^t c_{ikl}^u \cdot w_{ukl}, \langle k, t \rangle = \{ \langle 1, 4 \rangle, \langle 2, 4 \rangle, \langle 3, 2 \rangle, \langle 4, 3 \rangle, \langle 5, 5 \rangle \},$$

其中 \cdot 为模糊算子,其运算规则参考文献[23]。

步骤7 构造综合模糊评估矩阵 $P_i^u = (p_i^u)$ 并标准化。

构造综合模糊评估矩阵 $P_i^u = (p_i^u), u=1, 2, \dots, 5, i=1, 2, \dots, m$,其中 p_i^u 为利益攸关者 $S_u \in S_s$ 对基度量 $b_i \in B_s$ 的综合评估值。

p_i^u 定义为: $p_i^u = \sum_{k=1}^5 r_{ik}^u \cdot w_{uk0}$ 。 p_i^u 为三角模糊数,即 $p_i^u = (x_i^u, y_i^u, z_i^u)$ 。

标准化模糊矩阵 $P_i^u = (p_i^u)$,得标准化矩阵 $B = (b_i^u)$,其中 $b_i^u = \frac{x_i^u + y_i^u + z_i^u}{3}$ 。

步骤8 计算基度量群体评估值 $Z = (z_i)$ 。

根据综合评估矩阵以及利益攸关者的权重向量 $W^s = (w_1^s, w_2^s, \dots, w_5^s)$,计算基度量的群体综合评估值 $Z = (z_i), i=1, 2, \dots, m$ 。其中 $z_i = \sum_{u=1}^5 b_i^u \cdot w_u^s, u=1, 2, \dots, 5$ 。

步骤9 根据阈值,筛选基度量。

(1)根据基度量的群体综合评估值 z_i ,对基度量按降序排列。

②如果对于基度量 i ,其群体综合度量值 $z_i \geq s$,则将其放入集合 $R = \{r_j\}, 1 \leq j \leq n \leq m$,并从基度量集中删除。

通过对基度量进行评估,筛选出达到一定用户满意度(阈值的度量)。从而保证所执行的度量是在基于度量目标的情况下,用户满意的度量。

2.7 度量筛选验证算法($V_{Strategy}$)

下面将介绍度量筛选验证算法的具体步骤(见图4):

步骤1 根据度量目标的可达性定义,判断对于 $R=\{r_i\},i=1,2,\dots,n$,度量目标 G 是否可达。

步骤2 如果目标不可达且基度量集 B 不为空,则从 B 中选择群体综合评估值最大的基度量,放入 R 中,记为 $r_{n+1},n=n+1$,重复步骤1。

由集合 B 的定义可知, B 为所有指示器的所有派生度量簇的所有基度量簇的并集,对应集合 B ,度量目标是可达成。所以不存在 B 为空,且度量目标不可达的情况。

如果度量目标可达,执行步骤3。

步骤3 筛选冗余的基度量。

(1)对 R 中元素按照降序排列。即如果 $p \leq q$,则 $r_p \leq r_q$ 。

(2)令 $j=n$ 。

(3)如果 $j \neq 0$,继续往下执行;如果 $j=0$,则结束算法。

(4)从 R 中,删除 r_j ,若度量目标可达,则说明 r_j 为冗余的。

从 R 中删除 r_j ,更新 r_j 后的元素下标, $n=n-1, j=j-1$,执行(2);如果度量目标不可达 $j=j-1$,执行(2)。

通过度量筛选验证算法,删除度量集中冗余的度量,降低度量的成本,实现度量集的无冗余性。

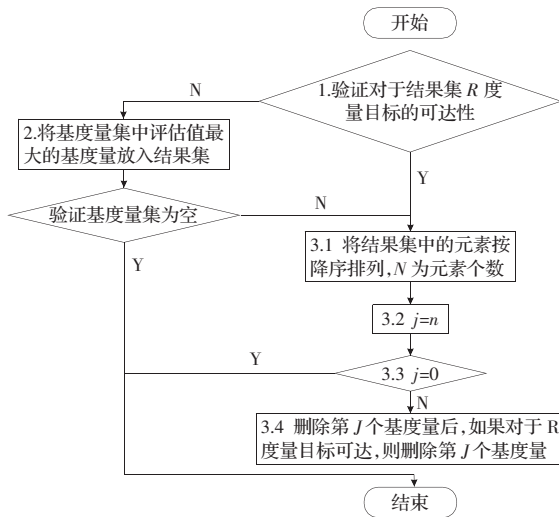


图4 度量筛选验证算法

3 实例分析

对于MTM模型,可以在利益攸关者之间就度量筛选达成一致满意的无冗余的度量集,进而实现度量目标,提供有价值的信息产品,为决策提供客观、正确的数据。基于上述模型,给出一具体案例。

3.1 模型输入

(1)度量目标 G -判断单元测试是否可以结束。

(2)利益攸关者集合 $S_u=\{s_u\}=\{\text{度量专家、高级管理层、项目经理、度量参与者、度量用户}\},u=1,2,\dots,5$ 。其中利益攸关者可由多人组成,然后以评估结果的平均值做为利益攸关者的评估值,比如企业中有多位度量专家,可对所有度量专家的评估值取平均值,作为度量专家的评估值。本例仅考虑各利益攸关者为唯一的情况。

(3)本例仅以提出的5个一级指标构成评估指标集合 $C_k=\{c_k\}=\{\text{有效性、易用性、利润、可行性、可靠性}\},k=1,2,\dots,5$ 。

3.2 筛选及验证算法

步骤1 根据GQ(I)M模型导出基度量集 $B_s=\{b_i\},i=1,2,\dots,6$,具体见图5。

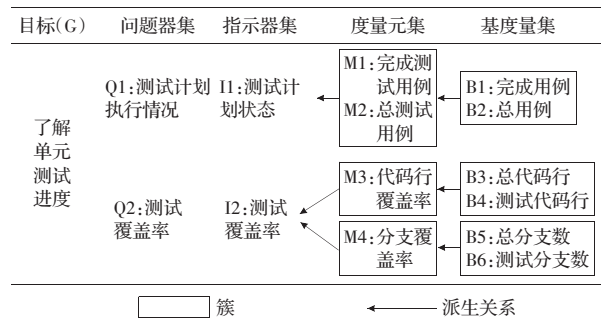


图5 根据GQIM模型导出基度量集

步骤2 确定基度量筛选的阈值 $s=0.5$ 。

步骤3 确定利益攸关者及指标的权重。

$$\text{利益攸关者的权重向量 } W^s = (w_u^s) = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.2 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.3 \end{bmatrix}$$

指标权重矩阵

$$W_c = (a_{ku}) =$$

$$\begin{bmatrix} (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.0,0.1,0.3) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \end{bmatrix}$$

步骤4 标准化指标权重矩阵

$$W_c = (w_{ku}) = \left(\frac{a_{ku}}{\sum_{k=1}^5 a_{ku}} \right) =$$

$$\begin{bmatrix} (0.19,0.20,0.21) & (0.3,0.29,0.26) & (0.0,0.05,0.10) & (0.33,0.29,0.26) & (0.15,0.17,0.19) \\ (0.19,0.20,0.21) & (0.0,0.06,0.12) & (0.5,0.43,0.35) & (0.33,0.29,0.26) & (0.15,0.17,0.19) \\ (0.43,0.36,0.29) & (0.0,0.06,0.12) & (0.5,0.43,0.35) & (0.00,0.06,0.11) & (0.35,0.31,0.27) \\ (0.00,0.04,0.08) & (0.7,0.53,0.38) & (0.0,0.05,0.10) & (0.33,0.29,0.26) & (0.0,0.03,0.08) \\ (0.19,0.20,0.21) & (0.0,0.06,0.12) & (0.0,0.05,0.10) & (0.00,0.06,0.11) & (0.35,0.31,0.27) \end{bmatrix}$$

步骤5 利益攸关者 s_u 根据评估指标 c_k 对基度量 b_i 进行评估,得初始模糊评估矩阵

$$C_{ik}^1 = (c_{ik}^1) =$$

$$\begin{bmatrix} (0.7,0.9,1.0) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) \end{bmatrix}$$

$$C_{ik}^2 = (c_{ik}^2) =$$

$$\begin{bmatrix} (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) \\ (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.0,0.1,0.3) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) \end{bmatrix}$$

$$C_{ik}^3 = (c_{ik}^3) = \begin{pmatrix} (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.7,0.9,1.0) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \end{pmatrix}$$

$$C_{ik}^4 = (c_{ik}^4) = \begin{pmatrix} (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.0,0.1,0.3) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \end{pmatrix}$$

$$C_{ik}^5 = (c_{ik}^5) = \begin{pmatrix} (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.3,0.5,0.7) & (0.3,0.5,0.7) \\ (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) \\ (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) \\ (0.0,0.1,0.3) & (0.7,0.9,1.0) & (0.0,0.1,0.3) & (0.3,0.5,0.7) & (0.0,0.1,0.3) \end{pmatrix}$$

步骤6 由于仅考虑一级评估指标,故本步骤省略。

步骤7 计算综合模糊评估矩阵 $P_i^u = (p_i^u) = (\sum_{k=1}^5 c_{ik}^u \cdot w_{ku}) =$

$$\begin{pmatrix} (0.25,0.44,0.65) & (0.30,0.50,0.70) & (0.15,0.33,0.56) & (0.40,0.47,0.66) & (0.20,0.37,0.59) \\ (0.42,0.56,0.70) & (0.21,0.34,0.50) & (0.35,0.51,0.67) & (0.30,0.40,0.63) & (0.40,0.55,0.71) \\ (0.57,0.71,0.80) & (0.21,0.43,0.65) & (0.35,0.53,0.59) & (0.46,0.43,0.64) & (0.60,0.73,0.81) \\ (0.13,0.28,0.48) & (0.49,0.57,0.61) & (0.70,0.81,0.83) & (0.46,0.56,0.66) & (0.11,0.25,0.47) \\ (0.25,0.42,0.62) & (0.09,0.31,0.57) & (0.35,0.51,0.66) & (0.33,0.31,0.48) & (0.54,0.66,0.75) \\ (0.13,0.28,0.48) & (0.21,0.31,0.45) & (0.15,0.31,0.52) & (0.46,0.43,0.64) & (0.11,0.25,0.47) \end{pmatrix}$$

$$\text{并标准化矩阵得 } B = (b_i^u) = \begin{pmatrix} 0.45 & 0.50 & 0.35 & 0.51 & 0.39 \\ 0.56 & 0.35 & 0.51 & 0.44 & 0.55 \\ 0.69 & 0.43 & 0.49 & 0.51 & 0.71 \\ 0.30 & 0.56 & 0.55 & 0.56 & 0.28 \\ 0.43 & 0.32 & 0.51 & 0.37 & 0.65 \\ 0.30 & 0.32 & 0.33 & 0.51 & 0.28 \end{pmatrix}$$

$$\text{步骤8 计算基度量群体评估值 } Z = (z_i) = (\sum_{u=1}^5 b_i^u \cdot w_u^s) = \begin{pmatrix} 0.44 \\ 0.50 \\ 0.61 \\ 0.40 \\ 0.48 \\ 0.32 \end{pmatrix}$$

步骤9 根据阈值 $s=0.5$, 筛选基度量得结果集合 $R = \{b2, b3\}$, $Z = \{b5, b1, b4, b6\}$ 。

根据筛选验证算法, 验证度量目标可达性及度量的冗余性, 得最后筛选结果为 $R = \{b2, b3, b1, b4\}$ 。

3.3 模型输出

根据度量筛选和验证算法, 得到满足度量目标的一致的满意的无冗余的度量集。

4 结束语

提出了基于 PSM, GQ(1)M 理论的模糊群决策度量筛选模型(MTM)。该模型参考 PSM 从最佳度量的角度给出度量选择准则, 形成评估指标, 然后利用 GQ(1)M 模型从信息需求生成

基度量集, 接着根据公司和项目的实际情况定义度量筛选的阈值, 在利益攸关者的参与下, 采用模糊群决策理论, 评估基度量, 之后验证度量目标的可达性, 删除冗余度量, 最终生成利益攸关者一致满意的无冗余的度量集。

该模型为度量筛选提出了一个可行的解决方案, 为开发相应的度量筛选工具提供理论基础, 但是度量筛选的评估指标需要进一步完善, 并形成评估标准。在度量筛选阈值的定义上, 要给出供参考的经验数值。重要的是在度量筛选的过程中, 不仅要考虑单个度量的评估而且要考虑整个度量构造的评估, 进一步提供评估的可靠性。

参考文献:

- [1] Fenton N E, Pfleeger S L. Software metrics: A rigorous & practical approach[M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [2] Wiegers K E. Software metric: Ten traps to avoid[J]. Software Development, 1997, 5(10): 49-56.
- [3] Department of Defense and US Army. Practical software and systems measurement: A found for objective project management: Version 4.0c[R]. 2003.
- [4] Gopal A, Krishnan M S, Mukhopadhyay T, et al. Measurement programs in software development: Determinants of success [J]. IEEE Transaction on Software Engineering, 2002, 28(9): 863-875.
- [5] Basili V R, Caldiera G, Rombach H D. The goal question metric approach[M]. [S.L.]: Encyclopedia of Software Engineering John Wiley & Sons Inc, 1994, 2: 528-532.
- [6] Goethert W, Hayes W. Experiences in implementing measurement programs, Technical Note. CMU/SEI-2001-TN-026[R]. [S.L.]: Carnegie Mellon University, 2001.
- [7] Card D N. Practical software measurement[C]//Proceedings of 25th International Conference on Software Engineering, Portland, NW Washington DC USA, IEEE Computer Science, May 2003: 738-739.
- [8] McGary J, Card D, Cheryl J. Practical software measurement: Objective information for decision makers[M]. MA: Addison Wesley, 2002.
- [9] Jones C. Using PSM to implement measurement in a CMMI process improvement environment[Z]. STC, 2003.
- [10] Emam K E, Card D N. ISO/IEC 15939 Software engineering-Software measurement process[S]. International Standards Organization (ISO) IEC, 2002.
- [11] Herrera F, Herrera-Viedma E. Choice functions and mechanisms for linguistic preference relations[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 120(1): 144-161.
- [12] 张学军, 卫贵武. 一种二元语义多属群决策方法研究[J]. 统计与决策, 2008(8): 163-165.
- [13] 董杨琴, 肖亮. 基于语言评价信息的群决策方法及其应用[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(5): 97-99.
- [14] 陈侠, 樊治平. 基于语言评价矩阵的评判专家水平研究[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 24(1): 1665-1668.
- [15] 陈岩, 樊治平, 陈侠. 一种基于不同粒度语言判断矩阵的群决策方法[J]. 东北大学学报, 2007, 28(7): 1057-1060.
- [16] 廖貅武, 李垣, 董广茂. 一种处理语言评价信息的多属性群决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2006(9): 90-98.
- [17] Zarghami M, Szidarovszky F, Ardakanian R.A fuzzy-stochastic OWA model for robust multi-criteria decision making[J]. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2008, 7(1): 1-15.