基于证据理论的企业目标推理①

高俊涛, 文必龙

(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 大庆 163318)

摘 要: 目标建模是早期信息系统需求分析的关键技术. 针对企业高层目标难以评估的问题, 提出一种企业目标量化建模方法, 以证据理论作为逻辑基础, 对企业目标可满足性进行定量表征, 借助 Dempster 证据合成法则, 设计多目标贡献关系合算法, 通过实验验证方法的有效性.

关键词: 目标建模; 证据理论; 需求分析

Reasoning with Organization Goals Based on Evidence Theory

GAO Jun-Tao, WEN Bi-Long

(School of Computer&Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing163318, China)

Abstract: Evidence Theory used in calculating the uncertain metrics of the uncertain events is developed based on probability theory. And the organization goals describe the future states of an enterprise during some time so that the possibility of one goal satisfied is evaluated with some uncertainty which is accorded with the uncertain evaluating method in evidence theory. In this article, evidence theory is employed to formulate the organization goals and to define a reasoning method with goals. With goal model built reasoning is done according to the automatic reasoning algorithm in which only uncertain metric of some goals is needed.

Key words: goal modeling; evidence theory; requirements analysis

证据理论是一种不确定推理理论, 也称为 Dempster/Shafer 证据理论(D-S 证据理论), 最早应用于专家系统中, 具有处理不确定信息的能力. 现在证据理论已经广泛应用于医学诊断、目标识别、军事指挥等领域. 作为一种不确定推理方法, 证据理论的主要特点是: 满足比贝叶斯概率论更弱的条件; 具有直接表达“不确定”和“不知道”的能力.

企业目标是企业经营宗旨的具体化, 是企业执行一切业务活动的初衷. 例如“将年利润提高 20%”、“提高品牌知名度”、“降低生产成本”等目标是企业制定决策的根本依据. 目标建模在业务过程重组和信息系统开发项目中, 作为一个关键技术被广泛关注[1-6]. 目前, 主要的目标建模方法有两种: i*方法[7]和 KAOS[8]方法. i*方法主要采用定性的方法进行目标建模和推理. KAOS 方法采用形式化方法进行目标建模和推理, 但侧重于描述底层具体目标之间的关系, 对于高层抽象目标间关系的描述能力不足.

本文提出一种量化企业目标建模语言, 描述企业目标以及目标之间的关系. 不仅支持目标之间纵向分解关系的定义, 还支持横向贡献关系的定义. 由于企业是一个复杂多变的业务系统, 系统的不确定性导致企业目标的可满足性是很难预测的. 本文为了刻画企业目标的可满足性, 采用证据理论作为逻辑基础, 研究企业目标可满足性分析推理方法.

在介绍企业目标建模方法之前, 首先简要介绍证据理论. 然后详细讨论企业目标及目标间关系的表示方法, 并采用证据理论给出精确的语义定义, 采用 Dempster 合成法则解决目标推理冲突问题, 最后通过实例数据验证方法的有效性.

① 基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11551018)
收稿时间:2012-02-27;收到修改稿时间:2012-04-11

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

1 证据理论[9]

证据理论是一种基于信度函数、用于不确定推理的数学理论. 其中的信度函数是对传统概率的一种改进, 主要体现在:

(1) 证据理论对“不知性”的表示合理, 能够区别信息的“不知道”和“不确定”;

(2) 证据理论中的概率的构造性解释与传统概率中关于“信念”的基本观点不同, 证据理论把信念视为主体基于证据产生的认识, 这种认识中包含了决策者的个人偏好, 而概率论认为主体的概念是先验的;

(3) 证据理论具有不同信度函数的合成法则.

定义 1. 识别框架, 某命题的各种相独立的可能方案或者假设的一个有限集合. 该框架中所有元素之间不存在重叠和相交, 命题的解决方案可能是识别框架的一个子集.

定义 2. 设 Θ 为识别框架, 如果 $m:2^{\Theta}\to[0,1]$, 且 m 满足公式(2)和公式(3), 则称 m 为基本置信指派函数. 该函数反映了对 A 本身的信度大小. 信度指人们相信一个命题为真的程度. 公式(2)反映了对于空集(空命题)不产生任何信度; 公式(3)反映了虽然我们可以给一个命题赋任意大小的信度值, 但要求我们给所有命题赋的信度值和等于 1.

$$m:2^{X}\to[0,1] \tag{1}$$

$$m(\phi)=0 \tag{2}$$

$$\sum_{A\in 2^{X}} m(A)=1 \tag{3}$$

定义 3. Dempster 合成法则, 证据理论合成规则如公式(4)和公式(5)所示. Dempster 合成法则对多证据源的作用结果进行合成, 可以解决现实问题中多证据冲突的问题.

$$m_{1,2}(\varnothing)=0 \tag{4}$$

$$m_{1,2}(A)=\frac{1}{1-K}\sum_{B\cap C\neq A} m_1(B)m_2(C) \tag{5}$$

其中, $K=\sum_{B\cap C=\varnothing} m(B)m(C)$

2 企业目标推理

2.1 目标模型

本文提出的量化企业目标建模方法, 不仅可以对目标进行分解, 还可以表达目标之间的影响关系, 组织目标模型可以被描述为一个四元组 $M=(G,\Pi,\Sigma,\Gamma)$. 其中, G 表示组目标的集合. 对于一个组织目标 $g\in G$, 目标满足性是指业务系统对某个目标的满足程度. 对于一个特定的目标, 它能否被满足是由许多支持它的业务过程和阻碍它的业务过程共同作用和决定的.

通常, 对命题“一个目标能否被满足”做出判断依赖于决策者已掌握的企业知识和经验, 它们为判断组织目标能否满足提供证据. 支持目标实现的业务过程就是对该命题有利的证据, 而阻碍目标实现的业务过程就是对该命题不利的证据. 目标满足度是指已知证据支持该命题成立的程度. 正如 Herbent Simon 提出的有限理性模型(Simmons Bounded Rationality Model)指出的: 人的知识永远都是有限的, 决策者即不可能掌握全部信息, 也无法认识决策的详尽规律. 那么在已知证据不足的情况下, 不可能给出一个精准的目标满足程度. 本文采用一个区间数 $[PSat,OSat]$ 表征已知证据支持下对组织目标满足度的评估值.

$PSat:G\to[0,1]$ 表征满足度的悲观估计. 其含义是在现有企业知识的基础上, 对组织目标的满足度进行评估, 其满足度最小不会低于 $PSat(g)$.

$OSat:G\to[0,1]$ 表征满足度的乐观估计. 其含义是在现有企业知识的基础上, 对组织目标的满足度进行评估, 其满足度最大不会超过 $OSat(g)$.

显然, 有利的证据越多, $PSat(g)$ 就越高, 不利的证据越多, $OSat(g)$ 就会越低. 证据的积累会促使目标满足度的区间跨度缩小. 表征目标满足度的区间数的跨度表明已知证据的充分程度. 已知的证据越多, 区间数跨度就越小; 反之, 区间数跨度就越大. 区间数的跨度最大为 1, 此时既没有证据支持该目标的实现, 也没有证据否定该目标的实现. 只有 $PSat\le OSat$ 时, 对目标满足度的估计才是理智的. 满足度为[1,1]的目标是可实现的; 满足度为[0,0]的目标是不可实现的.

$\Pi\subseteq G\times 2^{G}$ 定义了目标纵向关系中的与分解关系. 如果目标 g 被与分解为子目标 $g_1,g_2,g_3,\cdots,g_n$, 表示只有当所有子目标都实现时, 父目标才能实现.

$\Sigma\subseteq G\times 2^{G}$ 定义了目标纵向关系中的或分解关系. 如果目标 g 被或分解为子目标 $g_1,g_2,g_3,\cdots,g_n$, 表示只要有一个子目标实现时, 父目标就能实现.

$\Gamma\subseteq G\times G\cup P\times G$ 表示两个目标之间的贡献关系, 公式(6)表示 g_1 对 g_2 有贡献.

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

$$(g_1, g_2) \in \Gamma \tag{6}$$

根据上诉的形式化定义, 可以建立企业的企业目标模型, 将高层目标逐步细化至底层目标, 并明确目标之间的相互关系, 作为目标推理的基础.

2.2 推理方法

2.3 满足性传递关系定理

若, $(g,\{g_1,g_2,g_3,...,g_n\}) \in \Pi$, 则

$$PSat(g) = \prod_{i=1}^{n} PSat(g_i) \tag{7}$$

$$OSat(g) = \prod_{i=1}^{n} OSat(g_i) \tag{8}$$

因为 $\{g_1,g_2,g_3,...,g_n\}$ 中所有目标都得到实现, 总目标 g 才能得到实现, 所以每个子目标 g_i, $i \in \{1,...,n\}$ 实现的可能性至少大于 $PSat(g_i)$, 所以已知证据对总目标 g 的支持程度, 也就是总目标 g 悲观估计值就是它的子目标满足度的悲观估计值的乘积. 相似地, 总目标 g 乐观估计值就是它的子目标满足度的乐观估计值的乘积.

若, $(g,\{g_1,g_2,g_3,...,g_n\}) \in \Sigma$, 则

$$PSat(g) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - PSat(g_i)) \tag{9}$$

$$OSat(g) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - OSat(g_i)) \tag{10}$$

因为 $\{g_1,g_2,g_3,...,g_n\}$ 中只要有一个目标实现, 总目标 g 就实现, 所以 $P(g) = P(g_1 + g_2 + g_3 + ... + g_n)$. 根据德摩根定律可知, 对于每个子目标 g_i $i \in \{1,...,n\}$, 它实现的可能性 $P(\overline{g_i}) \in [1 - OSat(g_i), 1 - PSat(g_i)]$, 所以总目标无法实现的可能性:

$$P(\overline{g}) \in [\prod_i (1 - OSat(g_i)), \prod_i (1 - PSat(g_i))]$$

如果 $(g_1, g_2) \in \Gamma$, 则

$$PSat(g_2) = PSat(g_1) \times Weight(g_1, g_2) \tag{11}$$

$$OSat(g_2) = 1 - Weight(g_1, g_2) + OSat(g_1) \times Weight(g_1, g_2) \tag{12}$$

如果目标 g_1 实现了, 目标 g_2 实现的可能性就是 $Weight(g_1, g_2)$. 由于根据已知证据判断, 目标 g_1 实现可能性大于 $PSat(g_1)$, 所以目标 g_2 实现的可能性就如公式所示. 同样地, 如果 g_1 无法实现, 那么 g_2 无法实现的可能性也是 $Weight(g_1, g_2)$.

2.4 多贡献关系合成

在组织目标建模中, I 贡献关系是一种很常见的关系, 而且经常出现多个贡献关系共同作用于一个目标的情况. 上文公式仅给出单个贡献关系对目标满足度的作用效果, 下面基于 Dempster 合成法则, 提出一种多贡献关系融合的算法. 当多个目标对一个目标有贡献时, 即满足:

$$(g_1, g) \in \Gamma \wedge (g_2, g) \in \Gamma \cdots \wedge (g_n, g) \in \Gamma$$

$m_1(\{S\}) \oplus m_2(\{S\}) =$

$$\frac{m_1(\{S\})m_2(\{S\}) + m_1(\{S\})m_2(\{S,D\}) + m_2(\{S\})m_1(\{S,D\})}{1 - (m_1(\{S\})m_2\{D\} + m_2(\{S)m_1\{D\})} \tag{13}$$

$m_1(\{D\}) \oplus m_2(\{D\}) =$

$$\frac{m_1(\{D\})m_2(\{D\}) + m_1(\{D\})m_2(\{S,D\}) + m_2(\{D\})m_1(\{S,D\})}{1 - (m_1(\{S\})m_2\{D\} + m_2(\{S)m_1\{D\})} \tag{14}$$

本文采用证据理论的合成公式. 首先, 确定识别框架为 Ω ={S,D}, S 表示目标 g 实现, D 表示目标 g 不实现, 目标 $g_1,g_2,g_3, \bullet\bullet\bullet, g_n$ 对 g 的贡献就是判断 g 实现或不实现的证据. 其次, 确定{S}, {D}, {SD}的信度函数, 信度函数根据 $(g_i, g) \in \Gamma^+$ 还是 $(g_i, g) \in \Gamma^-$ 采用不同的计算方式. 最后, 依据公式(8)对 $g_1,g_2,g_3, \bullet\bullet\bullet, g_n$ 的贡献进行合成, 假设目标 g_1,g_2 贡献的合成记做 $m_1(\{S\}) \oplus m_2(\{S\})$ 和 $m_1(\{D\}) \oplus m_2(\{D\})$, 则合成规则为公式(13)和公式(14), 并且合成计算满足结合率, 即满足:

$m_1(\{S\}) \oplus m_2(\{S\}) \oplus m_3(\{S\}) = (m_1(\{S\}) \oplus m_2(\{S\})) \oplus m_3(\{S\})$.

最终目标 g 满足概率范围是:

$PSat(g) = m_1(\{S\}) \oplus m_2(\{S\}) \oplus \cdots \oplus m_n(\{S\})$

$OSat(g) = 1 - m_1(\{D\} \oplus m_2(\{D\}) \oplus \cdots \oplus m_n(\{D\})$

2.5 算法实现

该自动推理算法以底层目标的 $PSat(g)$ 和 $OSat(g)$ 为输入, 自动推理得到高层目标的 $PSat(g)$ 和 $OSat(g)$. 首先设定一组高层目标 *HighGoals* 作为决策的依据, 然后根据过程选项给出底层目标满足度的评估值作为目标推理的初始条件. 遍历所有满足度未知的目标, 如果该目标满足度的计算条件具备, 则应用前面提出的公理集. 通过这种方式逐步扩散满足度已知的目标, 直到所有高层目标的满足度都变成已知

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

状态，推理结束．否则提示决策者，组织目标模型所表达的企业知识不充分，建议返回组织目标建模阶段，继续对组织目标模型进行补充．

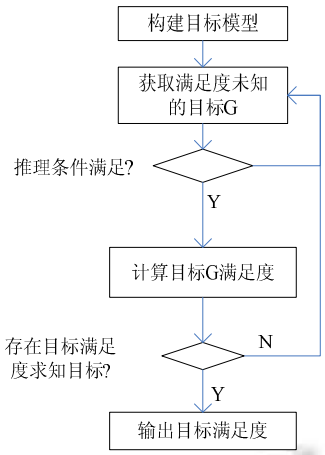

图 1　扩散式目标模型推理算法

推理公式的条件满足是指下面三个条件满足(1)该目标通过 And-Decomposing 关系分解为多个子目标时，只有当所有的子目标的满足度已知时，函数返回真；(2)该目标通过 Or-Decomposing 关系分解为多个子目标时，至少有一个子目标的满足度已知时，函数返回真；(3)有多个 Impact 关系作用于该目标时，所有 Impact 关系的源端目标的满足度已知时，函数返回真．

3　实例

本部分以一个具体企业目标模型为基础，如图 2 所示；以底层目标的实现概率范围为输入，采用 2.5 节的推理算法进行推理，并给出最终结果．

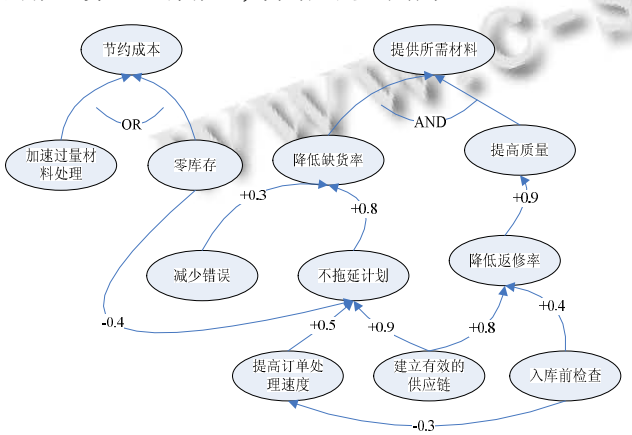

图 2　企业目标模型

输入 1:
加速过量材料处理--PSat:0.45;OSat:0.6
零库存--PSat:0.5;OSat:0.7
减少错误--PSat:0.5;OSat:0.6
建立有效的供应链--PSat:0.3;OSat:0.5
入库前检查--PSat:0.7;OSat:0.8
输入 2:
加速过量材料处理--PSat:0.8;OSat:0.9
零库存--PSat:0.6;OSat:0.7
减少错误--PSat:0.5;OSat:0.6
建立有效的供应链--PSat:0.2;OSat:0.3
入库前检查--PSat:0.2;OSat:0.3
输出 1:
节约成本--PSat:0.5;OSat:0.7
降低返修率--PSat:0.370;OSat:0.635
提高订单处理速度--PSat:0.79;OSat:0.06
提高质量--PSat:0.333;OSat:0.672
不拖延计划--PSat:0.3481;OSat:0.3911
降低缺货率--PSat:0.314;OSat:0.505
提供所需材料--PSat:0.104;OSat:0.339
输出 2:
节约成本--PSat:0.8;OSat:0.9
降低返修率--PSat:0.151;OSat:0.348
提高订单处理速度--PSat:0.94;OSat:0.21
提高质量--PSat:0.136;OSat:0.413
不拖延计划--PSat:0.287;OSat:0.317
降低缺货率--PSat:0.264;OSat:0.448
提供所需材料--PSat:0.036;OSat:0.185

4　结论

本文借鉴证据理论的思想，对企业目标模型进行了形式化的定义，提出了一套企业目标的推理方法，并实现了目标推理的自动算法．这种基于证据理论的企业目标推理方法可应用于企业解决方案的决策，企业需求的获取等方面，根据某些易于评价的目标对其他目标进行推理，为企业提供必要的信息．

参考文献

1 Mylopoulos J, Chung L, Nixon B. Representing and using non-functional requirements: A process-oriented approach. IEEE Trans. on Software Engineering, 1992,6 (18):483–497.

（下转第 80 页）

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn