基于可能性测度的工程管理决策的研究

李召妮　马占有　李永明

（陕西师范大学计算机学院　西安 710076）

摘　要　考虑可能性 Kripke 结构的一种扩展形式——带有成本的可能性 Kripke 结构，并且研究在此之上的期望测度和多属性决策问题。带有成本的可能性 Kripke 结构是在可能性 Kripke 结构的转移关系上(或者是状态上)给定了成本——这个自然数可以看成是成本，当然也可以看成是收益。在此只考虑转移关系上的成本。为了便于理解，文中给出实例，即应用带有成本的可能性 Kripke 结构的相关理论来解决工程管理决策的某些问题。

关键词　可能性测度，带有成本的 Kripke 结构，多属性决策，期望测度

中图法分类号　TP301.1　　**文献标识码**　A　　**DOI**　10.11896/j.issn.1002-137X.2014.08.026

Research on Management Decision of Project Based on Possibility Measure

LI Zhao-ni　MA Zhan-you　LI Yong-ming

(School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract　This paper aimed to consider an extension of possibilistic Kripke structure, called possibilistic Kripke cost structure (PoKCS). We focused on expected measures and multi-attribute decision making problem on PoKCS. A possibilistic Kripke cost structure is a possibilistic Kripke structure in which transitions (or states) are augmented with costs, natural numbers that can be interpreted as costs, or dually as bonuses. We only considered equipping transitions with costs. Finally, we described a case study about the management decision of project to illustrate application of the methods discussed in the paper.

Keywords　Possibility measure, Possibilistic Kripke cost structure, Multi-attribute decision making, Expected measure

1　引言

模型检测是一种形式化的自动验证技术，1981 年由 Clarke、Emerson、Quielle 和 Sifakis 提出，用以验证我们生活中的经典问题。实际应用中的系统总会遇到各种随机现象：比如像数据的丢失或篡改这样的情况，因此我们需要对系统的性能进行评价，这时就可以看出系统具有概率特性。基于此，Baier 和 Katoen 提出了概率测度，介绍了基于概率测度的模型检测的原理和方法。然而现实生活有很多复杂的问题不满足概率测度下的可加性，所以这些问题并不能用概率模型进行验证，因此对非可加性测度中可能性测度的研究具有理论与实际意义。

在可能性测度中，我们除了关心特定事件的可达性，当然也要重视可能性 Kripke 结构中的成本问题，亦即我们所关心的最优化问题。例如，目前工程项目的规模越来越大，对其管理的难度也随之加大。工程管理中要考虑的因素众多，比如时间、人力资源、所要花费的财力、设备等等。综合各种因素进行分析，找出最佳方案是我们更加关心的，所以研究可能性 Kripke 结构中的成本问题具有现实意义。

本文提出了带有成本的可能性 Kripke 结构(Possibilistic Kripke Cost Structure)，它是对可能性 Kripke 结构的扩展——在转移关系上给定了成本值(或者是收益值)，并在此模型上我们研究了期望值以及最优化的理论。最后结合实例，应用此模型来解决实际问题——工程管理决策问题。

2　可能性测度的基本知识

可能性测度将模糊理论与模型检测理论相结合，主要用于解决实际中的非可加性问题。可能的 Kripke 结构是研究可能性测度的主要模型。

2.1　可能的 Kripke 结构

定义 1[2]　一个可能性 Kripke 结构是一个五元组 $M=(S,P,I,AP,L)$，其中：

(1)S 是一个可数、非空状态集；

(2)$P:S\times S\rightarrow[0,1]$为转移可能性函数，对状态 s，有 $\bigvee_{t\in S}P(s,t)=1$；

(3)$I:S\rightarrow[0,1]$为可能性初始分布，对状态 s，有 $\bigvee_{s\in S}I(s)=1$；

(4)AP 为原子命题的集合；

(5)$L:S\rightarrow 2^{AP}$ 为状态的标签函数。

注：初始可能性分布 $I(s)>0$ 时，s 为初始状态。“$\vee X$”和“$\wedge X$”分别表示对 X 中的元素取上确界和下确界运算。对 s 和状态集 $T\subseteq S$，则有 $P(s,T)=\bigvee_{t\in T}P(s,t)$表示从 s 出发，经

到稿日期：2013-05-29　返修日期：2013-07-20　本文受国家自然科学基金(11271237)资助。

李召妮　女，硕士生，主要研究方向为模型检测，E-mail：lizhaoni01@163.com；**马占有**　男，博士生，副教授，主要研究方向为模型检测；**李永明**　男，博士，教授，博士生导师，CCF 会员，主要研究方向为非经典计算理论、量子计算、量子信息等。

一步转移到 T 中的某些状态 t 的可能性。若 S 和 AP 有穷，则可能的 Kripke 结构 M 是有穷的。当 M 有穷时，可用 $|M|$ 表示 M 的大小，它是所有状态以及大于 0 的所有转移个数之和。$Paths(M)$ 表示 M 的无穷路径集，$Paths_{fin}(M)$ 表示 M 的有穷路径集。$Paths(s)$ 表示从 s 出发的路径集，$Paths_{fin}(s)$ 表示从 $s_0=s$ 出发的有穷路径集，s 的后继 $Post(s)=\{s'\in S|P(s,s')>0\}$，$Post^*(s)$ 表示从 s 出发，经过有穷路径到达的状态集。前缀 $Pre(s)=\{s'\in S|P(s',s)>0\}$，$Pre^*(s)=\{s'\in S|s\in Post^*(s')\}$。

定义 2[2] 令 $\hat{\pi}=s_0\cdots s_k\in Paths_{fin}(s)$，$s_0=s$，前缀为 $\hat{\pi}$ 的所有无穷路径集为

$$Cyl(\hat{\pi})=\{\pi\in Paths(M)|\hat{\pi}\in Pref(\pi)\}$$

定理 1[2] 设 M 为可能的 Kripke 结构，则所有以有限路径 $\hat{\pi}=s_0\cdots s_n$ 为前缀的路径的可能性为 $P=Po(Cyl(s_0\cdots s_n))=I(s_0)\wedge P(s_0\cdots s_n)=I(s_0)\wedge\bigwedge_{i=0}^{n-1}P(s_i,s_{i+1})$，其中，$P(s_0)=1$，特别地，$Po(Cyl(s_0))=I(s_0)$。

2.2 基于可能性 Kripke 结构的计算树逻辑(PoCTL)

定义 3[2] PoCTL 的语构定义如下：

PoCTL 状态公式：

$\Phi::=\text{true}|a|\Phi_1\wedge\Phi_2|\neg\Phi|Po_J(\varphi)$

其中，φ 是路径公式，$a\in AP$，$J\subseteq[0,1]$，$Po_{\leqslant q}(\varphi)$ 表示 $Po_{[0,q]}(\varphi)$。

PoCTL 路径公式：

$\varphi::=\square\Phi|\Phi_1\cup\Phi_2|\Phi_1\cup^{\leqslant n}\Phi_2$

其中，Φ、Φ_1 和 Φ_2 是状态公式，$n\in N$。

定义 4[2] PoCTL 的语义定义如下：

设 $M=(S,P,I,AP,L)$ 是无终态的可能的 Kripke 结构，$s\in S$，Φ_1 和 Φ_2 是 PoCTL 状态公式，φ 是路径公式，$a\in AP$ 是原子命题，π 是路径。则 PoCTL 状态公式的满足关系定义如下：

(1)$s|=a$ 当且仅当 $a\in L(s)$；

(2)$s|=\neg\Phi$ 当且仅当 $s|\neq\Phi$；

(3)$s|=\Phi_1\wedge\Phi_2$ 当且仅当 $s|=\Phi_1$ 且 $s|=\Phi_2$；

(4)$s|=\exists\Phi$ 当且仅当 $\exists\pi\in Paths(M)$，$\pi|=\varphi$；

(5)$s|=\forall\Phi$ 当且仅当 $\forall\pi\in Paths(M)$，$\pi|=\varphi$。

PoCTL 的路径公式满足关系定义如下：

(1)$\pi|=\square\Phi$ 当且仅当 $\pi[1]|=\Phi$；

(2)$\pi|=\Phi_1\cup\Phi_2$ 当且仅当 $j\geqslant 0,\pi[j]|=\Phi_2\wedge(\forall 0\leqslant k<j,\pi[k]|=\Phi_1)$；

其中，对 $\pi=s_0s_1s_2\cdots$，$i\geqslant 0$，$\pi[i]=s_i$。

特别地，

(1)$\pi|=\diamond\Phi$ 当且仅当 $\exists j\geqslant 0,\pi[j]|=\Phi$；

(2)$\pi|=\square\Phi$ 且仅当 $\forall j\geqslant 0,\pi[j]|=\Phi$；

(3)$\pi|=\Phi_1 W\Phi_2$ 当且仅当 $\pi|=\Phi_1\cup\Phi_2$ 或 $\pi|=\square\Phi_1$。

3 带有成本的可能性 Kripke 结构及其理论

这部分的目标是考虑可能性 Kripke 结构的一种扩展，我们将其称为带有成本的可能性 Kripke 结构，并且研究在此模型上的期望测度和最优化问题。一个带有成本的可能性 Kripke 结构是一个在转移关系上(或者是在状态上)给定了成本(这是一个自然数，可以看成是成本，当然也可以是收益)的一个可能性 Kripke 结构。在此我们只考虑转移关系上的成本，是指从一个状态转移到其直接后继状态的代价(或者是收益)。

3.1 带有成本的可能性 Kripke 结构

定义 5 一个带有成本的可能性 Kripke 结构(Possibilistic Kripke Cost Structure，简称 PoKCS)是一个二元组(M,Co)，其中：

(1)M 是带有可能性转移函数 P 的可能性 Kripke 结构；

(2)$Co:S\times S\to N$，它是成本函数——给每一个转移关系给定一个非负整数值 $Co(s,s')$，$s'\in Post(s)$。

很明显，$Co(s,s')$ 的值表示了从一个状态转移到直接后继状态的成本，由此可得，对于一个有限路径 $\hat{\pi}=s_0s_1\cdots s_n$，这条路径的累计成本为：

$$Co(\hat{\pi})=Co(s_0,s_1)+Co(s_1,s_2)+\cdots Co(s_{n-1},s_n)$$

这里有 $n+1$ 个状态，累计成本值由 n 个成本值相加。

注意：一个带有成本的可能性 Kripke 结构中可以有多个成本函数。

定义 6 设(M,Co)是可能性转移函数上的带有成本的可能性 Kripke 结构，$B\subseteq S$ 是目标状态集，对于 M 中的一个无穷路径 $\pi=s_0s_1s_2\cdots$，其累计成本定义如下：

$$Co(\pi,\diamond B)=\begin{cases}Co(s_0s_1\cdots s_n), & \text{if } s_i\notin B \text{ for } 0\leqslant i<n \text{ and } s_n\in B\\ \infty, & \text{if } \pi|\neq\diamond B\end{cases}$$

总之，$Co(\pi,\diamond B)$ 表示沿着路径 π 第一次到达目标状态集中的状态时所需要的累计成本。

3.2 可达性质的期望成本(收益)

定义 7 设 M 是一个 PoKCS，$s\in S$，$B\subseteq S$，那么期望成本(ExpCo)定义如下：

(1) 如果 $P(s|=\diamond B)=0$，$ExpCo(s|=\diamond B)=\infty$；

(2) 如果 $P(s|=\diamond B)>0$，

$$ExpCo(s|=\diamond B)=\bigwedge_{c=0}^{\infty}c\cdot P_s\{\pi\in Paths(s)|\pi|=\diamond B\wedge Co(\pi,\diamond B)=c\}。$$

如果 $P(s|=\diamond B)>0$，说明从状态 s 出发存在路径可以到达 B 中的目标状态，这些路径上的期望成本累计值就是对应每条有限路径上的期望累计值的下确界，形式化公式如下：

$$ExpCo(s|=\diamond B)=\bigwedge_{\hat{\pi}}P(\hat{\pi})\cdot Co(\hat{\pi})$$

这里 $\hat{\pi}=s_0s_1\cdots s_n$ 是 M 中所有的有穷路径且 $s_n\in B$，$s_0=s$，$s_0,\cdots,s_{n-1}\notin B$，$Po(\hat{\pi})$ 的值取其上确界。

3.3 多种属性的决策

多种成本——可以看成是影响决策的多个属性，比如，在工程管理决策中要考虑的因素有工期(时间问题)、花费的财力、人力资源，以及在特定情况下完成的可能性有多大等等。这里我们讨论在 PoKCS 模型上如何解决多属性值的决策问题。由于可能性测度中的计算主要是对路径的计算，因此在解决实际问题中最好是一条路径对应一个解决方案。

算法 假如 M 是一个 PoKCS，其中有 n 个成本函数，对 PoKCS 中的从 s_0 出发到目标状态的所有有限路径 $\hat{\pi}$ 上的多

种成本值进行计算，得到的数据记为 R，找出所计算出的最大值 Max|R|以及对应的有限路径，其方法如下：

(1)对于每一种成本(也就是影响决策的每一个属性)给定权值 $\omega_i\in(0,1)$，$0<i\leqslant n$(如果用户对于所有的属性没有偏重，这一步可以忽略)。

(2)将每一个成本函数 Co_i 规范化为 Co_i'。

$Co_i'=S\times S\rightarrow J, J\subseteq[0,1], 0<i\leqslant n$

对于收益类属性指标，J 的取值是 $j_i=\frac{n_i}{\mathrm{Max}(N)}$；

对于成本类属性指标，J 的取值是 $j_i=\frac{\mathrm{Min}(N)}{n_i}$。

N 是每一种成本值的集合，上面的公式就是把 N 中的元素对应转换成 J 中的元素。

(3)计算有限路径 $\hat{\pi}_k$ 上的多种成本值(也就是对每一个方案的多种成本值的计算)：

$R_k=P(\hat{\pi}_k)\times(\omega_1\times Co_1'(\hat{\pi}_k)+\cdots+\omega_i\times Co_i'(\hat{\pi}_k)+\cdots+\omega_n\times Co_n'(\hat{\pi}_k))$

(4)对所有的方案值根据 R_k 的大小排序，找出其最大值，并输出对应的路径。

3.4 融合了成本的 PoCTL——PoCCTL

这里我们讨论一种融合了成本的 PoCTL 的变体，我们将这种逻辑称为 PoCCTL，它是可能性成本计算树逻辑(Possibilistic Cost Computation Tree Logic) 的简称。

定义 8 PoCCTL 的语构定义如下：

PoCCTL 的状态公式：

$\Phi::=\mathrm{true}\,|\,a\,|\,\Phi_1\wedge\Phi_2\,|\,\neg\Phi\,|\,Po_J(\varphi)\,|\,E_C(\Phi)$

其中，φ 是路径公式，$a\in AP$，$J\subseteq[0,1]$，C 是合理的成本区间，Op 是最优算子。

PoCCTL 的路径公式：

$\varphi::=\Box\Phi\,|\,\Phi_1\cup\Phi_2\,|\,\Phi_1\cup^{\leqslant n}\Phi_2\,|\,\Phi_1\cup_{\leqslant c}\Phi_2$

其中，Φ、Φ_1 和 Φ_2 是状态公式，$n,c\in N$，$\cup_{\leqslant c}$ 是成本约束 until。

定义 9(PoCCTL 的语义) 这里命题逻辑的语义以及可能性操作符的定义跟 PoCTL 是一样的。对于期望操作符 $E_C(\cdot)$及其最优算子 $Op(\cdot)$，其语义定义如下：

$s|=E_C(\Phi)$ iff $ExpCo(s|=\Diamond Sat(\Phi))\in C\wedge c\in C$

对于最优算子 Op 的计算是根据 3.3 节算法进行的。

3.5 PoCCTL 模型检测的复杂度

在模型检测的过程当中，可能性 Kripke 结构和带有成本的可能性 Kripke 结构都是对其路径的计算，所以我们有如下的定理。

定理 2 设 M 是一个带有成本的 Kripke 结构，PoCCTL 模型检测 $M|=\Phi$ 的时间复杂度为 $O(poly(size(M))\cdot n_{\max}\cdot|\Phi|\cdot|Co|)$，其中，$n_{\max}$ 表示出现在公式 Φ 的子公式 $\Phi_1\cup^{\leqslant n}\Phi_2$ 中的最大转移步数，若公式 Φ 中不包含受转移步数限制的操作算子，则令 $n_{\max}=1$，$|Co|$ 表示成本函数的个数。

4 工程管理决策问题的建模与验证

在这个部分我们将应用第 3 节的内容对工程管理决策的实际问题进行建模，并对其进行验证。

4.1 工程管理问题的案例描述

某公司计划把一种有销售潜力的新产品投放市场，管理者希望能尽快地推出该新产品以抢占市场。现在还有 4 个没有时间重叠的阶段没有完成，包括正以正常速度进行的研究工作(第一阶段)。然而，每个阶段的实施水平可以从正常水平提高为优先水平或应急水平，使之能够加速完成，而且最后 3 个阶段都可以考虑提高实施水平。第一阶段可以以正常速度完成，也可以加速完成。

管理层现在预计给这 4 个阶段拨款 3000 万人民币，尽量在 11 个月内推出产品，还要尽可能地确保质量问题。

(1)每个阶段所需要的时间如表 1 所列。

表 1 各阶段的工期表

实施水平	研究	研制	制造系统设计	开始生产和分销
正常	6 个月	5 个月	8 个月	4 个月
优先	4 个月	3 个月	5 个月	2 个月
应急	2 个月	2 个月	3 个月	1 个月

(2)每个阶段的费用情况预计如表 2 所列(单位：万元)。

表 2 各阶段的费用表

实施水平	研究	研制	制造系统设计	开始生产和分销
正常	300	400	600	180
优先	600	600	900	300
应急	900	900	1200	600

(3)每个阶段确保质量按计划时间完成的可能性如表 3 所列。

表 3 各阶段完成的可能性表

实施水平	研究	研制	制造系统设计	开始生产和分销
正常	1.0	1.0	1.0	1.0
优先	0.85	0.7	0.8	0.8
应急	0.8	0.55	0.65	0.76

管理层希望确定这 4 个阶段各自应该采取哪一种水平，从而在 3000 万人民币的预算内在 11 个月内尽可能高质量地确保该产品推出市场。

4.2 工程管理问题的案例建模

0 代表 0 阶段，是源节点，剩下的节点的含义都包括两部分：数字(1、2、3、4)代表已经完成的阶段；a、b、c 分别代表实施水平：正常、优先、应急。为了方便用有向图表示模型，再在每个阶段后增加一个虚拟目的地 T，这不会影响计算的结果值。

模型中一些数字的说明：从 0 到 $1a$ 表示通过正常的实施水平完成了第一阶段的任务：完成的可能性是 1，用时 6 个月，费用是 300 万元；从状态 la 到 $1T$，$1T$ 是增加的虚拟目的地，因为 1a 已经表示第一阶段的任务完成，所以从 1a 到 $1T$ 的可能性是 1，用时和费用都是 0。其他的以此类推。

(1)状态集 $S=\{s_0,s_1,s_2,s_3,s_4,s_5,s_6,s_7,s_8,s_9,s_{10},s_{11},s_{12},s_{13},s_{14},s_{15},s_{16}\}$；

(2)可能性转移函数 P：$P(s_0,s_1)=1.0$，$P(s_4,s_6)=0.7$，$P(s_{10},s_{12})=1.0$，其它的如图 1 所示；

(3)可能性初始分布 $I(s_0)=1$；

(4)原子命题集合$\{0,1a,1b,1c,1T,2a,2b,2c,2T,3a,3b,3c,3T,4a,4b,4c,4T\}$；

(5)标签函数：$L(s_0)=0$，$L(s_2)=1b$，$L(s_4)=1T$，其它的如图 1 所示；

(6)成本函数(时间单位:月)Co_1:$Co_1(s_0,s_1)=6$,$Co_1(s_6,s_8)=0$,其它的如图1所示。

(7)成本函数(花费单位:万元)Co_2:$Co_2(s_0,s_1)=300$,$Co_2(s_6,s_8)=0$,其它的如图1所示。

注意:状态集、可能性初始分布、原子命题的集合、标签函数都可以用向量来表示;可能性转移函数、成本函数可以用矩阵来表示;很明显,从图1中可以看出从 s_0 出发到 s_{16} 的任意一条有限路径都对应一种方案。

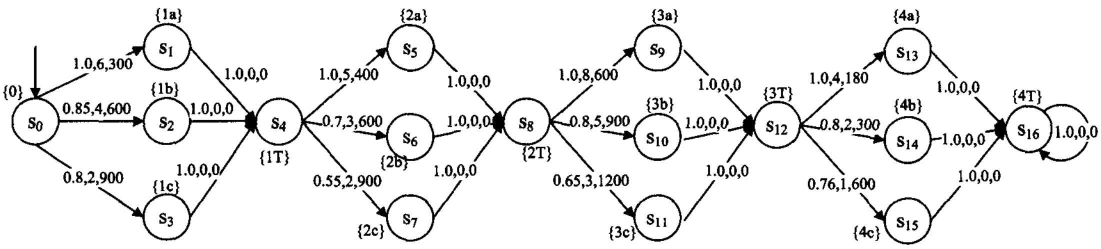

图1 案例模型

4.3 工程管理问题的案例验证

根据4.1节的问题描述,可以将要求形式化描述为:$E_{1\leqslant 11}(4T)\wedge E_{2\leqslant 3000}(4T)$ 在满足上式的情况下找出最佳方案。

根据3.2节中对于期望值的定义,$P(\hat{\pi})$ 最大的取值是1.0,如果要 $ExpCo\leqslant C$,只要确保每条路径上的成本累计值 $Co(\hat{\pi})\leqslant C$ 即可。

(1)计算满足时间花费在11个月之内(包括11个月)的路径(方案)。

$Co_1(s_0s_2s_4s_6s_8s_{11}s_{12}s_{15}s_{16})=11$;

$Co_1(s_0s_2s_4s_7s_8s_{11}s_{12}s_{15}s_{16})=10$;

$Co_1(s_0s_2s_4s_7s_8s_{11}s_{12}s_{14}s_{16})=11$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_5s_8s_{11}s_{12}s_{15}s_{16})=11$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_6s_8s_{10}s_{12}s_{15}s_{16})=11$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_6s_8s_{11}s_{12}s_{15}s_{16})=9$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_6s_8s_{11}s_{12}s_{14}s_{16})=10$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_7s_8s_{10}s_{12}s_{14}s_{16})=11$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_7s_8s_{10}s_{12}s_{15}s_{16})=10$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_7s_8s_{11}s_{12}s_{15}s_{16})=8$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_7s_8s_{11}s_{12}s_{14}s_{16})=9$;

$Co_1(s_0s_3s_4s_7s_8s_{11}s_{12}s_{13}s_{16})=11$。

(2)在(1)中满足的路径中找出费用在3000万以内的方案(包括3000万)。

$Co_2(s_0s_2s_4s_6s_8s_{11}s_{12}s_{15}s_{16})=3000$;

$Co_2(s_0s_2s_4s_7s_8s_{11}s_{12}s_{14}s_{16})=3000$;

$Co_2(s_0s_3s_4s_6s_8s_{10}s_{12}s_{15}s_{16})=3000$;

$Co_2(s_0s_3s_4s_6s_8s_{11}s_{12}s_{14}s_{16})=3000$;

$Co_2(s_0s_3s_4s_7s_8s_{10}s_{12}s_{14}s_{16})=3000$。

(3)应用多属性决策的方法,在(2)中满足的路径中找出最佳方案。

1)在这个案例中对于每个属性没有偏重,所以就不需要设置权重了。

2)由于每个属性的取值单位不一样,因此首先需要将两个成本函数中的值进行规范化。根据成本类属性指标的规范化公式,所有的规范后的成本值如图2所示。

(注意:到虚拟节点的成本不变,还是0)

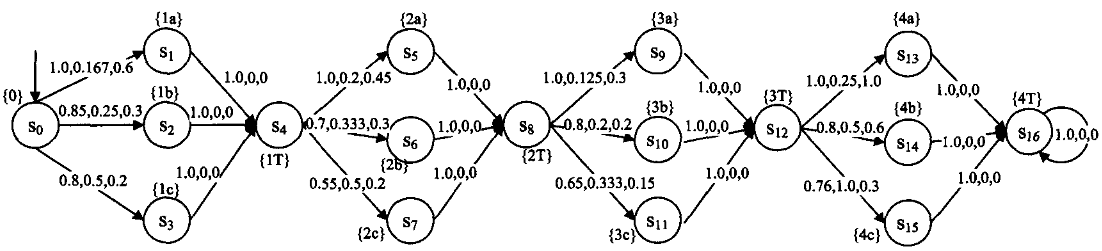

图2 案例模型(数据转化)

3)根据图2中的数据以及多个属性值决策的计算公式找出最佳方案(最佳有限路径)。

$R(s_0s_2s_4s_6s_8s_{11}s_{12}s_{15}s_{16})=0.65\times(1.916+1.05)=1.9279$;

$R(s_0s_2s_4s_7s_8s_{11}s_{12}s_{14}s_{16})=0.55\times(1.583+1.25)=1.55815$;

$R(s_0s_3s_4s_6s_8s_{10}s_{12}s_{15}s_{16})=0.7\times(2.033+1.0)=2.1231$;

$R(s_0s_3s_4s_6s_8s_{11}s_{12}s_{14}s_{16})=0.65\times(1.666+1.25)=1.8954$;

$R(s_0s_3s_4s_7s_8s_{10}s_{12}s_{14}s_{16})=0.55\times(1.7+1.2)=1.595$。

根据上面的计算结果可以看出,有限路径 $s_0s_3s_4s_6s_8s_{10}s_{12}s_{15}s_{16}$ 对应的方案是最佳方案,即研究和生产分销阶段采用应急实施水平,研制和制造系统设计阶段采取优先实施水平。

结束语 本文提出了带有成本的可能性 Kripke 结构(PoKCS),并讨论了在此模型上的期望测度和多属性决策。带有成本的可能性 Kripke 结构为管理决策问题的解决提供了一种新的思路,且此方法清晰易懂。为了更好地理解本文中所描述的理论,我们在最后例举了一个工程管理决策的案例并应用期望测度和多属性决策进行问题的求解。本文中所讨论的都是精确数,下一步我们可能继续研究在模糊数情况下的期望测度和多属性决策,并将其应用于解决管理决策的其他问题,结合其计算树逻辑的其他性质进行更深入的研究。

参考文献

[1] 李永明. 模糊系统分析[M]. 北京:科学出版社,2005

(下转第129页)

值,保证压缩度和恢复度都可以满足需求。

最后通过与 haar 小波变换降维方法的对比实验,验证了统计降维方法具有很低的时间复杂度和空间复杂度。图 6 为统计降维方式和小波变换降维方式的执行效率对比,表明统计降维方式有很低的时间复杂度;图 7 为在恢复度都为 0.8 时,统计降维方式和小波变换方式占用存储空间的对比,表明统计降维方式有很低的空间复杂度。

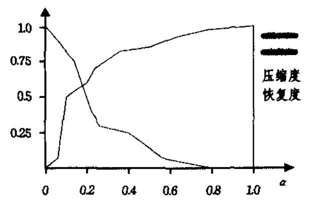

图 4 压缩度和恢复度与 α 的关系

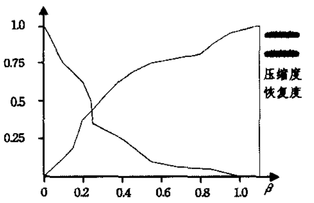

图 5 压缩度和恢复度与 β 的关系

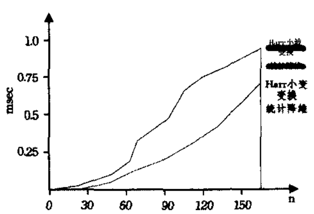

图 6 降维效率对比图

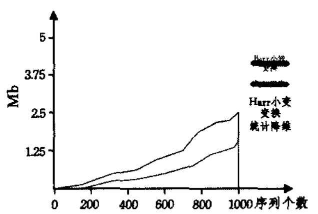

图 7 存储空间对比图

结束语 本文提出了对不确定时间序列基于统计和相关性的降维方法,该方法可以有效地降低不确定时间序列存储空间,相较于其他针对不确定时间序列的降维方法,有很低的时间复杂度和空间复杂度,并且可以处理任意长度的时间序列。后续的主要任务是将该降维算法应用到不确定时间序列的索引和相似性匹配过程中。

参 考 文 献

[1] Agrawal R,Faloutsos C,Swami A. Efficient Simillarity Search in Sequence Databases[C]//FODO. 1993:69-84

[2] Rafiei D,Mendelzon A O. Querying Time Series Data Based on Sililarity[J]. IEEE TKDE,2000,12(5):675-693

[3] Chan K-P,Fu A W-C. Efficient time series matching by wavelets [C]//Proceedings of the 15th International C on ference on Data Engineering. Sydney,Australia,1999:126-133

[4] Popivanov I,Miller R-J. Similarity Search Over Time-Series Data Using Wavelets[C]//Proceedings of the 18th International Conference on Data Engineering. San jose,CA,2002:212-221

[5] Chan K-P,Fu A-W,Yu C-T. Haar Wavelets for Efficient Similarity Search of Time-Series: With and Without Time Warping [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2003,15(1):686-705

[6] Zhao Yu-chen, Aggarwal C-C, Yu P-S. On wavelet decomposition of uncertain time series data sets[C]//Proceedings of the 19th ACM Conference on Information and Knowledge Management. Toronto,Canada,2010:129-138

[7] Popivanov I. Similarity search over time-series data using wavelets. Data Engineering [C] // Proceedings. 18th International Conference. 2002:212-221

[8] Kawagoe E,Ueda S. On the Need for Time Series Data Mining Benchmarks: A Survey and Empirical Demonstration[J]. Data Mining and Knowledge Discovery,2002,7:349-371

[9] Chakrabarti K,Garofalakis M-N,Rastogi R,et al. Approximate query processing using wavelets[J]. the VLDB Journal,2001,10 (2/3):199-223

[10] Korn F,Jagadish H,Faloutsos C. Efficiently supporting ad hoc queries in large datasets of time sequences[C]//Joan P,ed. Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Tuescon, AZ USA: Morgan Kaufmann Publishere,1997:286-300

[11] Faloutsos C, Ranganathan M, Manolopoulos Y. Fast Subsequence Matching in Time Series Databases [C]//Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Minneapolis,1994:419-429

[12] Cormode G,Garofalakis M. Histograms and Wavelets on Probabilistic Data[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering,2010,22(8):1142-1157

[13] Liao Kang-li, Chen Hua-hui, Qian Jiang-bo, et al. Wavelet Decomposition Algorithm for Uncertain Data Streams[M]. 2011: 965-970

[14] Vidal R,Ma Ya,Sastry S. Generalized principal component analysis (GPCA)[C]//Proceeding of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2003:18-20

(上接第 121 页)

[2] 薛艳,雷红轩,李永明. 基于可能性测度的计算树逻辑[J]. 计算机工程与科学,2011,33(9):70-75

[3] 李丽君,雷红轩,李永明. 基于可能测度的 LTL 模型检测[J]. 计算机学报,2012(3):33-39

[4] 希利尔,等. 数据,模型与决策[M]. 北京:中国财政经济出版社,2012

[5] 宋伟. 工程管理案例[M]. 北京:机械工业出版社,2012

[6] Li Li-jun,Li Yong-ming. Model-checking of linear-time properties in possibilistic Kripke structure. Quanitative Logic and soft computing[C]//World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2012: 287-294

[7] Xue Yan, Lei Hong-xuan, Li Yong-ming. Possibilistic Kripke structure decision processes. Quanitative Logic and soft computing[C] // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2012: 295-302

[8] 徐泽水. 基于期望值的模糊多属性决策法及其应用[J]. 系统工程与实践,2004(1):109-113

[9] Baier C, Katoen J-P. Principles of Model Checking[M]. Cambridge: The MIT Press,2007:816-832