

基于云模型以约束为中心的复杂系统定性建模*

王洪利^{1,2}

(1. 西安交通大学 管理学院, 西安 710009; 2. 中原工学院 经济管理学院, 郑州 450000)

摘要: 针对以约束为中心的复杂系统仿真中缺乏有效的不确定性信息描述方法, 导致仿真中不确定性信息不能充分利用的问题, 借鉴和采纳云模型的相关理论和方法, 研究了以约束为中心基于云模型的复杂系统定性建模方法。首先提出了仿真中基于云模型的不确定信息表示方法、基于云模型和群体专家决策的量空间构建方法; 然后给出了基于云模型的系统定性约束方程的构建方法; 最后将提出的建模方法应用于一个敏捷供应链的建模实例。结果表明提出的建模方法具有客观表达不确定信息、将定性定量信息在仿真中相互融合的优点。

关键词: 复杂系统; 定性建模; 以约束为中心; 云模型

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)12-4593-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.050

Qualitative modeling of complex system based on cloud model using QSIM

WANG Hong-li^{1,2}

(1. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710009, China; 2. School of Economic & Management, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The absence of effective depictive expression of uncertain information causes the insufficient usage of uncertain information. The qualitative modeling method of complex system based on QSIM and studied cloud model according to the theory and method of cloud model. Firstly this paper gave the expression of uncertain information based on cloud model. It created the value space of variable by the cloud model and group experts. Then constructed construction of system qualitative constrain function based on cloud model. Lastly applied the modeling method to the case of modeling in the agile supply chain management. The proposed method has the merit of objective expression the uncertain information, and the fusion of qualitative and quantitative information can be used in complex system simulation.

Key words: complex system; qualitative modeling; QSIM; cloud model

0 引言

采用建模仿真的手段来研究复杂系统内在运行机制是复杂系统研究的最主要方法。定性仿真是相对于定量仿真而言的一种仿真方法, 是基于系统定性建模和定性推理的一种仿真方法。由于系统的复杂性和参数的难以量化, 当前复杂系统仿真主要采用的是定性仿真。虽然定性仿真在复杂系统研究中具有其他方法无可比拟的优点, 但定性仿真的缺点在于没有与定量知识有效地结合。在当前复杂系统的定性仿真中, 存在不确定性信息的描述能力不足的问题。复杂系统仿真中系统变量具有不确定性, 这种不确定性又不是对变量的取值一无所知, 而是根据经验或判断就能够确定变量值的大致范围及其可能的变化方向。但根据这些有限的信息确定其客观的定性描述是一个难点问题。复杂系统仿真中由于缺乏有效的不确定性信息描述方法, 导致不确定性信息的描述能力不足。如果不能有效地对不确定性信息进行描述, 将直接影响复杂系统仿真的可靠性。

1) 复杂系统仿真建模中不确定信息的表示和传播

复杂系统仿真中不确定性信息的表示是在纯定性仿真的基础上应用系统定量信息的必要前提。关于复杂系统仿真中

不确定信息的表示和传播, 已经提出了一系列的方法, 可归结为以下三类典型方法:

a) 基于区间数的方法

文献[1]中提出了区间数表示的不确定信息及其在定性仿真的约束、单调函数、微分方程和量空间中的传播方法。在以区间数为基础的方法中, 用区间的大小来表示不确定信息的不确定性的强弱, 如果区间大表示不确定性强; 反之表示不确定性弱, 区间范围包括 $[-\infty, +\infty]$ 。定性信息可以利用经验或原理知识确定一个范围, 定量信息可以用一个确定的区间表示, 如 $5\ \Omega$ 电阻可以表示为 $[4.98, 5.02]$ ^[2]。其中 Q_2 算法就是基于区间数运算的, 它是以约束为中心的基于QSIM的半定量仿真算法, 是第一个半定量仿真算法。但是基于区间数的方法有以下缺点^[2]: (a) 定量范围确定困难, 用区间表示不完全信息, 区间的边界值却难以确定, 允许区间范围为 $[-\infty, +\infty]$, 但是这种表示方法是非常不精确的, 会带来很多矛盾状态; (b) 当时间区间非常大时, 仿真精度会比较低。对 Q_2 算法进行改进的 Q_3 算法也是基于区间数运算的仿真方法^[3,4], 同样具有上述缺点。为了克服区间数的缺点, 文献[5]用参数的概率密度函数代替区间进行半定量仿真, 但概率密度函数的确定需要先验知识, 概率密度函数产生的参数值一定要达到一

收稿日期: 2012-04-21; 修回日期: 2012-05-28 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71001082)

作者简介: 王洪利(1978-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 副教授, 博士(后), 主要研究方向为复杂系统仿真、决策支持系统、云模型及其应用等(graduated852@163.com)。

定的数量,否则仿真的可靠性得不到有效的保证。

b) 模糊数方法

Shen 等人^[6-10]将模糊逻辑与定性仿真结合起来提出了模糊定性仿真。他们给出了基于模糊数学的模糊仿真建模及其算法,包括模糊状态空间、状态转换和过滤技术,并使用相似原理消除奇异分支。为了表达系统中不确定信息,用梯形隶属函数表示定量空间元素。在模糊定量空间的基础上,提出了到达时间和持续时间的计算公式,并用于过滤矛盾状态。其输入为系统变量、变量之间的关系以及变量初值,通过状态转移规则产生后续状态,每一个后续状态分支代表一种可能的系统行为,利用各种过滤技术对后续状态进行过滤,保留正确的状态。到目前为止,模糊定性仿真得到了学者广泛而深入地研究和应用^[11-14]。但是在基于梯形隶属函数的定量空间基础上提出的相似原理以及定量空间元素之间的距离定义在某些情况下是不合理的,这就可能导致产生过多的矛盾行为或滤掉正确行为。导致这一现象的根本原因在于定量空间的表示采用的是梯形隶属函数^[15]。除此之外还存在如下缺点:不容易找到适宜的模糊参数值的确定以及模糊空间的划分手段;系统真实值与模糊量空间的映射难以客观确定;不易确定描述系统的模糊量,使用经验判断,导致模糊半定量仿真中量空间构建中存在主观性、没有表达出系统参数不确定性中的随机性。

c) 概念灰数方法

中国科学技术大学陈宗海教授在国家自然科学基金项目资助下开展了关于灰色定性仿真实理论、算法和应用的相关研究^[16],其博士生黄元亮开展了灰色定性仿真的相关研究^[17-19]。黄元亮和陈宗海使用灰色系统理论、概率论和定性仿真中处理不确定性问题的理论,结合分析现有定性定量仿真实理论,提出了灰色定性仿真,即以变量状态持续时间为定性推理基础的定性定量相集成的仿真算法^[17]。其中给出了基于概念灰数的灰色定性建模方法、状态描述、指导规则和连续性规则。在灰色定性仿真中,一个物理系统中的变量 x 在某一个给定时间点或区间上的灰色定性状态是一对有序概率灰数对^[17]。但灰色定性仿真的概念灰数方法只适用于变量信息不完全(贫信息)条件下的系统仿真问题。

2) 以约束为中心的定性建模方法

目前定性仿真中应用最广泛的是美国德州大学的 Kuipers^[20]于1986年提出的定性仿真实理论——QSIM。以QSIM为基础的方法被称为以约束为中心的方法。QSIM方法从建立系统的定性微分方程入手,其中定性微分方程中的约束包括代数、单调和微分等约束;然后系统从当前状态出发,从状态空间中选择后续状态,通过约束过滤、时序过滤等过滤技术,过滤掉系统的矛盾或者不一致的状态^[20]。从QSIM算法被提出至今,其在算法实现和应用方面得到了广泛而深入地研究^[21-27]。QSIM方法擅长于复杂系统的定性分析,对于定量信息缺乏的复杂系统,能够从定性角度分析系统的行为和状态,但存在着不能充分利用已有定量信息的缺点。

本文在以约束为中心的复杂系统仿真中,为了增加不确定性信息的描述能力,实现变量的定性表达与定量的数据在表示方式上的统一,提出了基于云模型的不确定信息的表示方法,建立基于云模型表示的系统变量的定性值空间;给出基于云模型变量表示的系统定性微分方程建立方法和过程。

1 基于云模型的复杂系统仿真中不确定信息的表示和量空间构建

1.1 基于正态云模型的复杂系统仿真中不确定信息的表示

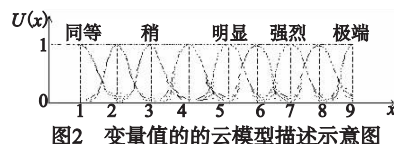
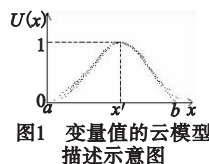
云模型是李德毅院士在概率论和模糊数学理论两者交互的基础之上,通过特定的结构算法所形成的定性概念与其定量表示之间的转换模型^[28]。采用正态云模型 $C(Ex, En, He)$ 表示复杂系统仿真中的不确定信息, Ex, En, He 是其三个数字特征,分别表示期望、熵和超熵。由于正态云模型的普适性,采用此种方式描述的定性概念空间能够在定量与定性描述模型之间建立量性转化、融合与集成的桥梁,即如果知道某一定量值,可以根据云运算确定其所属的定性概念,反之亦然。这为系统中定性定量信息的真正融合提供了非常好的方法。同时可以在集合与值之间构成一种联系,因为该描述可以通过设置不同参数值把实数、实数区间、模糊区间和云模型表示进行统一描述,把定量描述与定性描述结合起来。图1为某变量值的正态云模型表示。设 U 是一个论域 $U = \{x\}$, T 是与 U 相联系的语言值, U 中的元素 x 对于 T 所表达的模糊概念的隶属度是一个具有稳定倾向的随机数^[29]。隶属度在论域上的分布称为云模型,简称云。 $U(x) = L(x)$ 在 $[0, 1]$ 中取值,云是从论域 U 到区间 $[0, 1]$ 的映射^[29],即

$$U(x) = L(x); U \rightarrow [0, 1]$$

$$\forall x \in U, x \rightarrow L(x)$$

1.2 基于正态云模型的量空间划分和构建

复杂系统仿真中存在难以量化的变量(参数),这样的变量往往具有半定性半定量的特点,对这样的变量并不是什么也不知道,而是知其范围或边界的不确定,模糊性和随机性是这种不确定的主要表现。在仿真中,当系统变量或者参数的不全定性表现为模糊性和随机性时,此时正态云模型是客观表示该变量或者参数的最佳方法。图2为建成的某变量空间的半定性云模型表达的示意图。图中给出了云模型表示的同等、介于同等和稍之间、稍、介于稍和明显之间、明显、介于明显和强烈之间、强烈、介于强烈和极端之间、极端这样的量空间变量;各变量的云模型的期望分别为1、2、3、4、5、6、7、8、9。



实际情况中,生成各个云模型的三个数字特征期望 Ex 、熵 En 和超熵 He 是量空间构建的关键。已有的方法生成量空间中各个云模型的数字特征是采用已有的云变换或黄金分割的方法,从而进一步构建所有变量的量空间。云变换或黄金分割方法在已有的文献中已有论述,缺点是没有充分利用专家的领域知识。本文提出一种结合领域专家法确定不确定性变量的云模型表示的方法,其优点在于能够充分利用领域专家头脑中的半定性评价信息。其方法如下:

考虑到大多数专家对某个定性变量量化赋值可能许多不确定性,而且还涉及到个人判断因素,通常很难甚至不能确定地说出是多少,但总能说出大约是多少或在多少到多少之间,即给出不确定性变量量化的区间值。为此作如下定义:

定义1 设有两个区间 $[a, b], [c, d]$, 如果 $a < c, b < d$, 则称区间 $[a, b] < [c, d]$ 。如果 $a < c$, 则称区间 $[a, b]$ “左小于”区间 $[c, d]$; 如果 $d > b$, 则称区间 $[c, d]$ “右大于”区间 $[a, b]$ 。

定义2 如果存在一个实数点 $x \in [a, b]$, 则称 x “点包含于”区间 $[a, b]$ 。

设专家 e_k 对对象 o_i 的变量 x_i 量化区间值估计为 $[x_{i1}^k, x_{i2}^k]$, 如果有 m 个专家参与判断, 便可得到 k 个区间值, 从而形成区间集值统计序列 $[x_{i1}^1, x_{i2}^1], [x_{i1}^2, x_{i2}^2], \dots, [x_{i1}^k, x_{i2}^k]$ 。则由此序列生成群体专家判断集结后的云模型的数字特征的过程如下:

a) 从区间集值统计序列 $[x_{i1}^1, x_{i2}^1], [x_{i1}^2, x_{i2}^2], \dots, [x_{i1}^k, x_{i2}^k]$ 中, 找出“左小于”所有其他区间的区间, 并将此区间的左端点记为 $x_{\min}$; 找出“右大于”所有其他区间的区间, 并将此区间的右端点记为 $x_{\max}$ 。

b) 在 $[x_{\min}, x_{\max}]$ 内, 以 $v_0 = x_{\min}$ 为起点, 以 Δv 为步长, 逐渐获得 $v_i = v_0 + i \times \Delta v (i = 1, 2, \dots, k)$ 。计算每一个 v_i “点包含于”区间序列 $[x_{i1}^1, x_{i2}^1], [x_{i1}^2, x_{i2}^2], \dots, [x_{i1}^k, x_{i2}^k]$ 中区间的个数 q_i' (表1)。注意在此可调整 Δv , 以使取得的 v_i 的个数足够多。

表1 序列中点包含 v_i 的区间个数 q_i'

取值 v_i	v_1	v_2	$\dots$	v_k
序列中点包含 v_i 的区间个数 q_i'	q_1'	q_2'	$\dots$	q_k'

对于表1中的数据, 计算以下比例 $p_i' = \frac{q_i'}{\sum_{j=1}^m q_j'} (i = 1, 2, \dots,$

$m)$, 得到表2。

表2 序列中点包含的区间个数占全体包含总数的比例

取值 v_i	v_1	v_2	$\dots$	v_m
点包含 v_i 的区间个数占全体包含总数的比例 p_i'	p_1'	p_2'	$\dots$	p_m'

首先将表1绘制成直方图(横坐标为 v_i , 纵坐标为序列中点包含 v_i 的区间个数 q_i'), 采用云模型理论中的方法, 创建该不确定性变量取值的云模型。其步骤如下:

a) 根据表2取群体专家判断所对应的云模型的数字特征中的期望 $Ex = v_{\max(p_i')}$ 。如果存在两个以上相等的 p_i' , 则在一定的水平阈值 δ 内, 选取其中最左边和最右边的两个 v_i 作为梯形云的左期望和右期望(只有一个 p_i' 最大, 可看成左期望等于右期望)。

b) 分别从左期望向左和右期望向右, 将熵值从0以较小的步长逐渐增加, 直到左、右半正态云的函数值与直方图值之差小于误差允许阈值。将左右两个半正态云的熵值记为梯形云的两个熵值 En_l, En_r 。

可将以上两步过程看成将整个数据集只变换成一个云模型的云变换过程。

c) 分别计算位于左期望左边的所有 v_i^L 和位于右期望右边的所有 v_i^R 的均值 $\bar{v} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v_i$; 样本方差 $s^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (v_i - \bar{v})^2$ 。

d) 各根据下式计算左、右半正态云模型的超熵:

$$He_l = \sqrt{S_l^2 - En_l^2}, He_r = \sqrt{S_r^2 - En_r^2}$$

2 以约束为中心基于云模型的系统定性约束方程

使用前面构建的云模型表达的量空间中的模型来表达系统中的定性参数。使用云代数运算和基于云模型的推理方法表达定性约束, 建立基于云模型的参数之间关系的描述。为

此, 参照文献[15]作如下定义:

基于云模型的定性路标值: 系统参数的行为和状态上重要点的基于云模型表示定性值的集合, 系统参数在这些点上行为和状态将发生变化。

基于云模型表示的可区分时间点: 是系统参数值发生重要变化的时间点。

基于云模型表示的定性状态: 系统的变量在一段时间内的状态用一个二元组 (A, B) 来表示, 其中 A 和 B 是云模型表示的量值(当云模型的数字特征中的熵和超熵为0时, 其为定量值), A 是基于正态云模型表示的定性量值, 取值于量空间 Q_c , 相邻定性量值之间是一种软化分; B 是基于正态云模型表示的在此定性量值的变化速率, 取值于量空间 Q_c , 相邻变化速率值之间也是一种软化分。相邻定性量值之间的软化分可充分表达系统变量的不确定性特征。每一个系统变量的所有状态均为 (A, B) 描述的按时序排列的二元组, 整个系统的当前状态由系统所有变量的当前状态组合而成。

基于云模型表示的定性行为: 由定性状态的系列组成。基于云模型表示的定性行为包括可区分时间点上和可区分时间点间的状态。

基于云模型表示的系统定性状态: 是所有单个参数定性状态所组成的 n 元组。

基于云模型表示的系统定性行为: 系统的定性行为是所有单个参数定性行为的系列。

在此, 定义 $Z(t) = f(X(t), Y(t))$ 为基于云模型的系统变量 X, Y, Z 上的相关约束(即系统定性约束方程), 其中 $X(t), Y(t), Z(t)$ 属于云模型表示的量空间。 X, Y 称为约束变量, Z 称为被约束变量。定性约束是对函数关系的定性抽象, 用于描述定性参数间的相互影响。系统定性约束方程是由定性参数和定性约束组成的定性方程组, 每个定性参数是对系统定性行为产生影响的变量。 X, Y, Z 均从云模型表示的量空间中取值。需要强调系统变量 X, Y, Z 之间并无完全确定的因果关系。当 f 是一个代数运算时, 云模型表示的量空间上的 X, Y, Z 的运算就是云的代数运算。

在此, 定义变量 X, Y, Z 在某时所取定性值 x, y, z 为所对应的云模型 $c_i^x(Ex_i^x, En_i^x, He_i^x)$ 和 $c_i^y(Ex_i^y, En_i^y, He_i^y), c_i^z(Ex_i^z, En_i^z, He_i^z)$, 则云的代数运算规则如下:

a) 对于 $x + y$, 有 $c_i^z(Ex_i^z, En_i^z, He_i^z) = c_i^x(Ex_i^x, En_i^x, He_i^x) + c_i^y(Ex_i^y, En_i^y, He_i^y)$, 那么云模型 $c_i^z(Ex_i^z, En_i^z, He_i^z)$ 中各数字特征的值根据云模型的代数运算, 由下式计算得出

$$Ex_i^z = Ex_i^x + Ex_i^y, En_i^z = \sqrt{(En_i^x)^2 + (En_i^y)^2}, He_i^z = \sqrt{(He_i^x)^2 + (He_i^y)^2}$$

b) 对于 $x - y$, 有 $c_i^z(Ex_i^z, En_i^z, He_i^z) = c_i^x(Ex_i^x, En_i^x, He_i^x) - c_i^y(Ex_i^y, En_i^y, He_i^y)$, 那么云模型 $c_i^z(Ex_i^z, En_i^z, He_i^z)$ 中各数字特征的值根据云模型的代数运算, 由下式计算得出

$$Ex_i^z = Ex_i^x - Ex_i^y, En_i^z = \sqrt{(En_i^x)^2 + (En_i^y)^2}, He_i^z = \sqrt{(He_i^x)^2 + (He_i^y)^2}$$

c) 对于 $x \times y$, 有 $c_i^z(Ex_i^z, En_i^z, He_i^z) = c_i^x(Ex_i^x, En_i^x, He_i^x) \times c_i^y(Ex_i^y, En_i^y, He_i^y)$, 那么云模型 $c_i^z(Ex_i^z, En_i^z, He_i^z)$ 中各数字特征的值根据云模型的代数运算, 由下式计算得出

$$Ex_i^z = Ex_i^x \times Ex_i^y, En_i^z = |Ex_i^x \times Ex_i^y| \sqrt{\left(\frac{En_i^x}{Ex_i^x}\right)^2 + \left(\frac{En_i^y}{Ex_i^y}\right)^2}$$

$$He_i^s = |Ex_i^s \times Ex_i^y| \sqrt{\left(\frac{He_i^s}{Ex_i^s}\right)^2 + \left(\frac{He_i^y}{Ex_i^y}\right)^2}$$

d) 对于 x/y , 有 $c_i^s(Ex_i^s, En_i^s, He_i^s) = c_i^y(Ex_i^y, En_i^y, He_i^y)/c_i^y(Ex_i^y, En_i^y, He_i^y)$, 那么云模型 $c_i^s(Ex_i^s, En_i^s, He_i^s)$ 中各数字特征的值根据云模型的代数运算, 由下式计算得出

$$Ex_i^s = \frac{Ex_i^x}{Ex_i^y}, En_i^s = \left| \frac{Ex_i^x}{Ex_i^y} \right| \sqrt{\left(\frac{En_i^x}{Ex_i^x}\right)^2 + \left(\frac{En_i^y}{Ex_i^y}\right)^2}$$

$$He_i^s = \left| \frac{Ex_i^x}{Ex_i^y} \right| \sqrt{\left(\frac{He_i^x}{Ex_i^x}\right)^2 + \left(\frac{He_i^y}{Ex_i^y}\right)^2}$$

除了代数约束以外, 微分约束是系统中同样对于确定系统行为至关重要的约束。定义微分约束中变量的定性值和变化速率是以云模型表示的:

$$X(t) = \text{deriv } Y(t)$$

其中: $X(t)$ 、 $Y(t)$ 均在系统云模型表示的定性空间中取值, 表示 $X(t)$ 在某时刻的定性值与 $Y(t)$ 的变化速率一致。如果此时 $X(t)$ 的定性状态为 (A_x, B_x) , $Y(t)$ 的定性状态为 (A_y, B_y) , 则当 X, Y 满足微分约束 $X(t) = \text{deriv } Y(t)$ 时, 有 $A_x = B_y$ 。

除此之外, 对于函数之间的单调约束, 更进一步建立约束变量与被约束变量之间的云规则来替代单点单调约束。

如果规则 $\text{if } P \text{ then } Q$ 中前件 P , 结论 Q 为基于云模型描述事实的命题的逻辑组合, 则称 $\text{if } P \text{ then } Q$ 为基于云模型的产生式云规则。 P, Q 为云语言谓词表示的命题逻辑组合, 设 x 为在 U 中取值的变量, 则命题可表示为 $(x \text{ is } T)$, T 为云语言谓词, 其中 T 可以是、大、小、多、少、高、低等。

3 一个敏捷供应链定性建模实例

有一某行业某产品的敏捷供应链由制造商、销售商和供应商三类角色组成。供应商原材料的生产能力 P_1 、生产期 T_1 , 制造商的制造能力 P_2 、生产期 T_2 , 产品库存量 Q_{21} , 原材料库存量 Q_{22} (假设生产 1 产品需要 1 原材料), 零售商的需求量 Q_3 , 要求供货期为 T_3 。由于环境的动态变化, 未来的生产能力和生产周期等量均为云模型表示的不确定性值。在制造商、销售商与供应商之间动态联盟成立条件的建模如下, 首先建立组成该敏捷供应链的约束为:

$$T_3 \geq T_2$$

$$T_2 \leq (Q_3 - Q_{21})/P_2$$

$$(Q_3 - Q_{21} - Q_{22})/P_1 \geq T_1$$

根据领域专家的群体决策, 使用 1.2 节中的方法建立产品量和周期的云模型表示的定性空间, 产品量的定性值状态空间为 {很高、高、中、低、很低}, 其中很高、高、中、低、很低分别为参数产品量的云模型表示的定性状态; 对应的云模型分别为 $C_{11}(5000, 500, 40)$, $C_{12}(1000, 200, 30)$, $C_{13}(300, 48, 8)$, $C_{14}(100, 28, 4)$, $C_{15}(0, 18, 3)$ 。周期的定性值状态空间为 {很长、长、中、短、很短}, 其中很长、长、中、短、很短分别为参数产品量的云模型表示的定性状态; 对应的云模型分别为 $C_{21}(90, 18, 3)$, $C_{22}(60, 12, 2)$, $C_{23}(30, 7, 1)$, $C_{24}(10, 3, 0.5)$, $C_{25}(0, 2, 0.3)$ 。相应的云模型定性值如图 3 所示。

根据前述方法, 对于 $T_3 \geq T_2$ 约束, 建立生产期和要求供货期的云规则表示为 (同理可建立产量与需求量之间约束的云规则):

if T_3 is 很短 then T_2 is 很短。

if T_3 is 短 then T_2 is 很低 or 低。

if T_3 is 中 then T_2 is 中 or 很短 or 短。

if T_3 is 长 then T_2 is 长 or 中 or 很短 or 短。

if T_3 is 很长 then T_2 is 很长 or 长 or 中 or 很短 or 短。

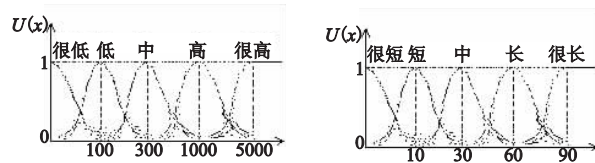


图3 产量和生产期变量空间的云模型示意图

对于约束 $(Q_3 - Q_{21})/P_2 \geq T_2$, 首先利用云的代数运算计算 $(Q_3 - Q_{21})/P_2$, 将结果与定性空间各云模型做相似度计算, 将与其相似度最近的定性空间中的云模型作为 $(Q_3 - Q_{21})/P_2$ 计算结果的云模型。然后根据周期间约束的云规则, 确定 $(Q_3 - Q_{21})/P_2$ 和 T_2 的关系规则。以相似的方式处理定性约束 $(Q_3 - Q_{21} - Q_{22})/P_1 \geq T_1$ 。

同时在原材料产量 $Q_1(t)$ 与原材料生产能力、产品产量 $Q_2(t)$ 与产品生产能力之间存在微分约束关系如下:

$$P_1 = dQ_1(t)/dt$$

$$P_2 = dQ_2(t)/dt$$

这两个微分约束的含义是, 生产能力的定性量值与产量的变化速率的定性值一致。其并不用于求解确切的数值, 而是用于一致性检验。

假设系统初始零售商需求量为“很低”, 考察随着零售商需求量的逐渐增大时系统的行为。此时需求量沿着云模型表示的定性值 {很低、低、中、高、很高} 逐渐变化。在系统参数值发生变化 (如由低变化到中) 的时间点为零售商需求量的可区分时间点。随着零售商需求量的逐渐增大, 可能导致系统的状态发生变化, 如当前供应链的解体等; 此时的系统参数定性值的集合被称为系统的定性路标值。

4 结束语

本文从不确定信息的特征表示入手, 构造复杂系统仿真中不确定信息表示的云模型, 此云模型的表示形式有利于系统量空间的运算, 从而构建基于云模型表示的系统变量的定性值空间。以云模型为表示方法, 对系统变量 (参数) 进行半定性半定量描述, 进而给出基于云模型的系统半定性半定量建模方法, 并给出了具体的实例。

此种仿真建模方法与以往仿真中主观经验划分方法不同的是, 对于描述对象, 能够找到一种合适的参数值的确定以及量空间的划分方法, 这样量空间构建具有客观性; 可以确定系统定量值与云模型量空间的映射, 能根据需要引入新的量值, 能有效实现复杂系统仿真中定量信息与定性信息有效的互相转换。对仿真中的仿真对象, 能够找到一种合适的系统参数确定方法和量空间的划分。与以往的方法相比, 量空间构建具有较大的客观性。进一步的研究工作为基于云模型的系统推理。

参考文献:

- [1] BENJAMIN K, DANIEL B. Using incomplete quantitative knowledge in qualitative reasoning[C]//Proc of the 7th Conference on Artificial Intelligent. Minnesota: Morgan Kaufmann Publishers, 1988: 324-329.
- [2] 刘丙杰, 胡昌华, 蔡光斌. 半定量仿真综述[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(9): 2375-2380.

- [3] BERLEANT D, KUIPERS B J. Qualitative and quantitative simulation; bridging the gap[J]. *Artificial Intelligence*, 1997, 95(2): 215-255.
- [4] DANIEL B. The use of partial quantitative information with qualitative reasoning[D]. Austin: University of Texas at Austin, 1991.
- [5] 刘丙杰, 胡昌华, 李海亮. 一种改进的半定量仿真算法[J]. *系统仿真学报*, 2007, 19(5): 963-965.
- [6] SHEN Qiang, LEITCH R. Extending qualitative simulation by the use of fuzzy sets[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics*, 1992, 22(2): 1001-1008.
- [7] SHEN Qiang, LEITCH Roy. Fuzzy qualitative simulation[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics*, 1993, 23(4): 1038-1061.
- [8] LEITCH R, SHEN Qiang. Qualitativeness does not imply fuzziness[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics*, 1994, 24(2): 1257-1261.
- [9] BELLAZZI R, GUGLIELMANN R, IRONI L. Learning from biomedical time series through the integration of qualitative models and fuzzy systems[J]. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2001, 21(3): 215-220.
- [10] 王东锋, 陈英武. 模糊定性建模与仿真集成实现[J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(3): 119-124.
- [11] HILDE D. Qualitative simulation and related approaches for the analysis of dynamic systems[J]. *The Knowledge Engineering Review*, 2004, 19(2): 93-132.
- [12] 刘丙杰, 胡昌华. 基于高斯隶属函数的模糊定性仿真[J]. *系统工程与电子技术*, 2006, 28(7): 1098-1102.
- [13] BROWN D J, LIU Hong-hai. An extension to fuzzy qualitative trigonometry and its application to robot kinematics[C]//Proc of IEEE International Conference on Fuzzy Systems. Piscataway: IEEE Press, 2006: 1111-1118.
- [14] 夏文俊. 面向概念设计的定性建模技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [15] 李文伟. 定性仿真方法发展与应用研究[J]. *系统仿真技术*, 2008, 4(2): 71-74.
- [16] HUANG Yuan-liang, CHEN Zong-hai, GUI Wang-shen. Grey qualitative simulation[J]. *The Journal of Grey System*, 2004, 16(1): 5-20.
- [17] 黄元亮. 灰色定性仿真基础研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2004.
- [18] 黄元亮, 潘冰. 基于灰色模型的系统半定量关联矩阵[J]. *系统仿真学报*, 2007, 19(3): 474-477.
- [19] HUANG Yuan-liang. Qualitative-quantitative system identification based on grey model[J]. *The Journal of Grey System*, 2005(2): 111-118.
- [20] KUIPERS B J. Qualitative simulation[J]. *Artificial Intelligence*, 1986(29): 289-338.
- [21] MARCO P, BERNHARD R, REINHOLD W. A specialized computer architecture for QSIM[J]. *IEEE Intelligent System*, 2000, 15(2): 62-68.
- [22] 梁昌勇, 杨善林, 黄梯云. QSIM 算法的序列因果关系约束和目标搜寻策略研究[J]. *计算机应用研究*, 2001, 18(1): 21-24.
- [23] 胡斌, 殷芳芳. 集成 CA 与 QSIM 的非正式组织群体行为演化的定性模拟[J]. *中国管理科学*, 2005(5): 130-136.
- [24] ZHANG He, BARBARA K, ROSS J. Planning software project success with semi-quantitative reasoning[C]//Proc of Australian Software Engineering Conference. Piscataway: IEEE Computer Society, 2007: 369-378.
- [25] SHAO Chen-xi. Quantitative and qualitative forecasting applied to supply-chain inventory[C]//Proc of the 2nd International Conference on Multimedia and Information Technology. Piscataway: IEEE Computer Society, 2010.
- [26] YANG Hua, HU Bin, ZHANG Liu-pei. Analysis for the quality risk evolution of highway engineering construction based on qualitative simulation[C]//Proc of International Conference on Computer Science and Service System. Piscataway: IEEE Computer Society, 2011: 212-215.
- [27] 陈培友, 李一军, 高太光. 基于 Kuipers 定性仿真算法的多议题谈判模型研究[J]. *中国管理科学*, 2011, 19(3): 158-165.
- [28] 付斌, 李道国, 王慕快. 云模型研究的回顾与展望[J]. *计算机应用研究*, 2011, 28(2): 420-426.
- [29] 邱凯昌. 空间数据发掘与知识发现[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001: 43.

(上接第 4573 页)

参考文献:

- [1] 王翠波. 基于文本情感挖掘的企业技术竞争情报采集模型研究[J]. *图书情报工作*, 2010(14): 75-78.
- [2] Phinecos. 基于朴素贝叶斯分类器的文本分类算法(上). [EB/OL]. (2008-10-21) [2012-04-26]. <http://www.cnblogs.com/phinecos/archive/2008/10/21/1315948.html>.
- [3] Phinecos. 基于朴素贝叶斯分类器的文本分类算法(下). [EB/OL]. (2008-10-21) [2012-04-26]. <http://www.cnblogs.com/phinecos/archive/2008/10/21/1316044.html>.
- [4] KIM S M, HOVY E. Determining the sentiment of opinions[C]//Proc of the 20th International Conference on Computational Linguistics. Stroudsburg: Association for Computational Linguistics, 2004: 1367-1373.
- [5] NASUKAWA T, YI J. Sentiment analysis: capturing favorability using natural language processing[C]//Proc of the 2nd International Conference on Knowledge Capture. New York: ACM Press, 2003: 70-77.
- [6] WILSON T, HOFFMANN P, SOMASUNDARAN S, et al. Opinion-Finder: a system for subjectivity analysis[C]//Proc of HLT/EMNLP on Interactive Demonstrations. Stroudsburg: Association for Computational Linguistics, 2005: 34-35.
- [7] HU Min-qing, LIU Bing. Mining and summarizing customer reviews[C]//Proc of the 10th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM Press, 2004: 168-177.
- [8] 曹逢甫. 汉语的句子与子句结构[M]. 北京: 北京语言大学出版社, 2005.
- [9] 陈中干. 现代汉语复句研究[M]. 北京: 语文出版社, 1998.
- [10] 郭志良. 现代汉语转折词的研究[M]. 北京: 北京语言文化大学出版社, 1999.
- [11] 申小龙. 汉语句型研究[M]. 海口: 海南人民出版社, 1989.
- [12] 刘建波, 杨峰. 面向舆情分析的短文本频繁模式聚类算法[J]. *北京电子科技学院学报*, 2010, 18(4): 6-11.
- [13] 龚静, 田小梅. 基于文本表示的特征项权值计算方法[J]. *电脑开发与应用*, 2008, 21(2): 46-48.