

二维正态云模型的单规则推理映射

李众¹, 刘艳²

(1. 常州信息职业技术学院 电子与电气工程学院, 江苏 常州 213164; 2. 南京邮电大学 光电工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要:针对二维正态云模型在实现数据的定量输入到规则的定性推理、再到数据的定量输出的转换过程中,其输出与输入之间的映射区域存在的不确定性问题,通过构造 3σ 正态分布随机数,在输入云模型与输出云模型分别具有相同的熵参数和超熵参数的情况下,总结出二维正态云模型的单规则推理映射规律,指出该映射区域是一个发散区域,其大小不但与云模型的参数期望有关,而且还与参数熵和超熵有关,而最大离散系数则与期望无关,该结论可以作为二维正态云模型多规则映射研究的理论指导。

关键词:云模型;规则推理;映射

中图分类号:TP18; TP273 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2010)05-0464-07

Single rule reasoning mapping for the two dimensional normal cloud model

LI Zhong¹, LIU Yan²

(1. Institute of Electronic and Electrical Engineering, Changzhou College of Information Technology, Changzhou 213164, China;
2. College of Optoelectronic Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunication, Nanjing 210003, China)

Abstract: Due to the fact that the two-dimensional normal cloud model is used for conversion from the quantitative input of data to the qualitative rules of reasoning, and then to the quantitative output of data, the mapping of the region from the input to the output is very uncertain. By constructing the normal distribution random number with as the parameter, in the case of the input cloud model having the same entropy and hyper entropy as the output cloud model, some conclusions of the single rule of reasoning mapping for the two-dimensional normal cloud model were summed up. It was also pointed out that the mapping region is a divergent region, and the size of the area is not only related to the cloud model parameter of the expected value, but also to the parameters of the entropy and hyper entropy. However, the maximum dispersion coefficient is not related to the parameter of the expected value. The conclusions can serve as a two-dimensional normal cloud model for the purpose of mapping more rules.

Keywords: cloud model; rule reasoning; mapping

云模型概念最早以隶属云^[1]的概念于1995年被正式提出,其本质是一种用数字特征表达语言概念的数学模型。云模型首先应用于KDD^[2-3](knowledge discovery in databases)、DMKD^[4](data mining and knowledge discovery)领域,除此之外,还涉及不确定性人工智能^[5]、智能控制等领域^[6-7]。10余年的发展进程表明,云模型在表达、处理不确定性概念方面,融合了不确定性所具有的模糊性和随机性^[8],具有并行推理^[9]、定性与定量转换等功能^[10-11],呈现出其内涵的独特性。

在人工智能与智能控制领域,文献[12]首次将云模型的数学表达方式和不确定性规则推理方法应用于控制器设计,文献[13-14]则将该方法用于倒立摆的控制过程。实际上,控制器所实现的输入输出控制关系就是一种映射关系^[15],基于云模型规则推理的智能控制过程实现的是定量数据→定性推理→定量数据的映射过程,即偏差输入→规则推理→控制量输出的控制过程。在此基础上,文献[16-17]设计了基于云模型映射器的智能控制器,文献[18]对一维正态云模型的单规则推理过程及映射关系进行了研究,揭示出这种映射关系与云模型的3个特征参数之间的内在关联规律,对云模型所蕴含的不确定

性进行了新的量化解释. 对于二维正态云模型的单规则推理过程而言, 这种映射过程是否也存在类似的关联规律? 本文将就此进行初步研究.

1 二维云模型

定义1 满足下列条件的随机数 $x = NR_{\sigma}(\mu, \sigma)$ 称为 3σ 正态分布随机数.

1) $x = X \sim N(\mu, \sigma^2)$, 当 $\mu - 3\sigma \leq x \leq \mu + 3\sigma$;

2) $x = \mu - 3\sigma$, 当 $x < \mu - 3\sigma$;

3) $x = \mu + 3\sigma$, 当 $x > \mu + 3\sigma$;

4) $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 是以 μ 为均值、 σ 为标准差的正态分布随机数.

定义2 在二维 X 条件云模型^[6]基础上稍作修改:

$$Px = NR_{\sigma}(Enx, Hex),$$

$$Py = NR_{\sigma}(Eny, Hey),$$

$$\mu = \exp\left\{\frac{1}{2}\left[\frac{(x - Ex)^2}{Px^2} + \frac{(y - Ey)^2}{Py^2}\right]\right\}. \quad (1)$$

称为二维 X 条件 3σ 云模型.

定义3 在 Y 条件云模型^[6]基础上稍作修改:

$$Pz = NR_{\sigma}(Enz, Hez),$$

$$z = Ez \pm \sqrt{-2\ln(\mu)} \cdot Pz. \quad (2)$$

称为 Y 条件 3σ 云模型.

为简明起见, 如不作特别声明, 以下所述的云模型均指正态云模型.

2 单规则推理映射分析

定义4 设 $U = [Ex - 3Enx, Ex + 3Enx]$, $V = [Ey - 3Eny, Ey + 3Eny]$, $W = [Ez - 3Enz, Ez + 3Enz]$, 输入云模型 $X = (Ex, Enx, Hex)$ 、 $Y = (Ey, Eny, Hey)$ 和输出云模型 $Z = (Ez, Enz, Hez)$ 分别定义在论域 U 、 V 和 W 上.

考虑二维云模型单规则推理: if X and Y then Z .

$\forall x \in U, \forall y \in V, \forall z \in W$, 当 $z > Ez + 3En$ 时, 取 $z = Ez + 3En$; 当 $z < Ez - 3En$ 时, 取 $z = Ez - 3En$.

1) 若当 $x \geq Ex$ 时, 取 $z \geq Ez$; 当 $x < Ex$ 时, 取 $z < Ez$, 则称为对称推理, 其映射为对称映射.

2) 若当 $x \geq Ex$ 时, 取 $z \leq Ez$; 当 $x < Ex$ 时, 取 $z > Ez$, 则称为反对称推理, 其映射为反对称映射.

引理1 设 $Enx = Eny = Enz = En > 0$, $Hex = Hey = Hez = He > 0$, $En - 3He > 0$, 令 $\text{sign}(x) =$

$$\begin{cases} +1, & x \geq 0, \\ -1, & x < 0. \end{cases} \text{ 当 } Px = Py = Pz = P \text{ 时, 则}$$

1) 对称映射区域 $S = S_1 \cup S_2$, 且映射区域的原点坐标为 (Ex, Ey, Ez) .

映射区域 $S_1: z = Ez + \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 当 $Ex \leq x \leq Ex + 3En$ 时.

映射区域 $S_2: z = Ez - \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 当 $Ex - 3En \leq x < Ex$ 时.

显然, $S = S_1 \cup S_2$ 也可以表示为 $z_c = Ez + \text{sign}(x - Ex) \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 称为对称映射核心区域(或核心曲面).

2) 反对称推理映射区域 $S_A = S_3 \cup S_4$, 且映射区域的原点坐标为 (Ex, Ey, Ez) .

映射区域 $S_3: z = Ez - \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 当 $Ex \leq x \leq Ex + 3En$ 时.

映射区域 $S_4: z = Ez + \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 当 $Ex - 3En \leq x < Ex$ 时.

显然 $S_A = S_3 \cup S_4$ 也可以表示为 $z_{AC} = Ez - \text{sign}(x - Ex) \cdot \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 称为反对称映射核心区域(或核心曲面).

证明 $\forall x \in U, \forall y \in V$, 将式(1)代入式(2), 有

$$z = Ez \pm \sqrt{-2\ln(\mu)} \cdot Pz =$$

$$Ez \pm \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{Px^2} + \frac{(y - Ey)^2}{Py^2}} \cdot Pz. \quad (3)$$

当 $Px = Py = Pz = P$, 则

$$z = Ez \pm \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}. \quad (4)$$

显然, 坐标 (Ex, Ey, Ez) 是式(4)的原点, “ \pm ”号取决于定义4的推理方式.

1) 采用对称推理, 当 $x \geq Ex$, 取“ $+$ ”号; 当 $x < Ex$, 取“ $-$ ”号. 即

映射区域 $S_1: z = Ez + \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 当 $Ex \leq x \leq Ex + 3En$ 时.

映射区域 $S_2: z = Ez - \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 当 $Ex - 3En \leq x < Ex$ 时.

对称推理映射区域 $S = S_1 \cup S_2$ 成立.

2) 采用反对称推理, 当 $x \geq Ex$, 取“ $-$ ”号; 当 $x < Ex$, 取“ $+$ ”号. 即

映射区域 $S_3: z = Ez - \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 当 $Ex \leq x \leq Ex + 3En$ 时.

映射区域 $S_4: z = Ez + \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2}$, 当 $Ex - 3En \leq x < Ex$ 时.

反对称推理映射区域 $S_A = S_3 \cup S_4$ 成立.

定理 1 二维正态云模型单规则推理映射:

设 $Enx = Eny = Enz = En > 0, Hex = Hey = Hez = He, En - 3He > 0, \forall Px, \forall Py, \forall Pz, \forall x \in U, \forall y \in V, \forall z \in W$, 则 $\Delta_z = \max(z) - \min(z) \in [0, \Delta_{\max}]$, 其中, $\Delta_{\max} = \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2}$, 称 Δ_{\max} 为二维输入点 (x, y) 映射的最大离散距离, $K_{\max} = \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2}$ 称为二维输入点 (x, y) 映射的最大离散系数.

证明 由引理 1, 考虑 Px, Py, Pz 是 3σ 正态分布随机数, 且 $En - 3He > 0$, 故

$$Px \in [En - 3He, En + 3He], Px > 0;$$

$$Py \in [En - 3He, En + 3He], Py > 0;$$

$$Pz \in [En - 3He, En + 3He], Pz > 0.$$

显然,

$$\max(Px) = En + 3He > 0,$$

$$\min(Px) = En - 3He > 0,$$

$$\max(Py) = En + 3He > 0,$$

$$\min(Py) = En - 3He > 0,$$

$$\max(Pz) = En + 3He > 0,$$

$$\min(Pz) = En - 3He > 0.$$

1) 考虑对称推理.

a) 当 $x \geq Ex$ 时, 则式(3)取“+”号, 有

$$z = Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{Px^2} + \frac{(y - Ey)^2}{Py^2}} \cdot Pz.$$

则

$$\begin{aligned} \min(z) &= Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{\max(Px)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{\max(Py)^2}} \cdot \min(Pz) = \\ &= Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{(En + 3He)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{(En + 3He)^2}} \cdot (En - 3He) = \\ &= Ez + \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En - 3He}{En + 3He}. \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max(z) &= Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{\min(Px)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{\min(Py)^2}} \cdot \max(Pz) = \\ &= Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{(En - 3He)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{(En - 3He)^2}} \cdot (En + 3He) = \\ &= Ez + \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En + 3He}{En - 3He}. \quad (6) \end{aligned}$$

故

$$\begin{aligned} \Delta z_1 &= \max(z) - \min(z) = \\ &= \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \left(\frac{En + 3He}{En - 3He} - \frac{En - 3He}{En + 3He} \right) = \end{aligned}$$

$$\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2}.$$

b) 当 $x \leq Ex$ 时, 则式(3)取“-”号, 有

$$z = Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{Px^2} + \frac{(y - Ey)^2}{Py^2}} \cdot Pz.$$

则

$$\begin{aligned} \min(z) &= Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{\min(Px)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{\min(Py)^2}} \cdot \max(Pz) = \\ &= Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{(En - 3He)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{(En - 3He)^2}} \cdot (En + 3He) = \\ &= Ez - \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En + 3He}{En - 3He}. \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max(z) &= Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{\max(Px)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{\max(Py)^2}} \cdot \min(Pz) = \\ &= Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{(En + 3He)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{(En + 3He)^2}} \cdot (En - 3He) = \\ &= Ez - \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En - 3He}{En + 3He}. \quad (8) \end{aligned}$$

故

$$\begin{aligned} \Delta z_2 &= \max(z) - \min(z) = \\ &= \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \left(\frac{En + 3He}{En - 3He} - \frac{En - 3He}{En + 3He} \right) = \\ &= \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2}. \end{aligned}$$

2) 考虑反对称推理.

a) 当 $x \leq Ex$ 时, 则式(3)取“+”号, 有

$$z = Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{Px^2} + \frac{(y - Ey)^2}{Py^2}} \cdot Pz.$$

则

$$\begin{aligned} \min(z) &= Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{\max(Px)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{\max(Py)^2}} \cdot \min(Pz) = \\ &= Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{(En + 3He)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{(En + 3He)^2}} \cdot (En - 3He) = \\ &= Ez + \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En - 3He}{En + 3He}. \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max(z) &= Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{\min(Px)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{\min(Py)^2}} \cdot \max(Pz) = \\ &= Ez + \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{(En - 3He)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{(En - 3He)^2}} \cdot (En + 3He) = \\ &= Ez + \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En + 3He}{En - 3He}. \quad (10) \end{aligned}$$

故

$$\begin{aligned} \Delta z_3 &= \max(z) - \min(z) = \\ &= \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \left(\frac{En + 3He}{En - 3He} - \frac{En - 3He}{En + 3He} \right) = \end{aligned}$$

$$\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2}.$$

b) 当 $x \geq Ex$ 时, 则式(3)取“-”号, 有

$$z = Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{Px^2} + \frac{(y - Ey)^2}{Py^2}} \cdot Pz.$$

则

$$\begin{aligned} \min(z) &= Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{\min(Px)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{\min(Py)^2}} \cdot \max(Pz) = \\ &Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{(En - 3He)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{(En - 3He)^2}} \cdot (En + 3He) = \\ &Ez - \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En + 3He}{En - 3He}. \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max(z) &= Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{\max(Px)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{\max(Py)^2}} \cdot \min(Pz) = \\ &Ez - \sqrt{\frac{(x - Ex)^2}{(En + 3He)^2} + \frac{(y - Ey)^2}{(En + 3He)^2}} \cdot (En - 3He) = \\ &Ez - \sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En - 3He}{En + 3He}. \quad (12) \end{aligned}$$

故

$$\begin{aligned} \Delta z_4 &= \max(z) - \min(z) = \\ &\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \left(\frac{En + 3He}{En - 3He} - \frac{En - 3He}{En + 3He} \right) = \\ &\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2}. \end{aligned}$$

显然,

$$\begin{aligned} \Delta z_1 &= \Delta z_2 = \Delta z_3 = \Delta z_4 = \\ &\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2}. \end{aligned}$$

令 $\Delta_{\max} = \Delta z_1 = \Delta z_2 = \Delta z_3 = \Delta z_4$ 即可.

定理1指出二维正态云模型的单规则推理映射区域是一个发散区域, 该区域的大小不但与参数 Ex 和 Ey 有关, 而且还与参数 En 和 He 有关, 但是最大离散系数与 Ex 和 Ey 无关.

定义5

1) 将式(5)和式(8)合并为式(13), 称之为对称映射下临界曲面.

$$\begin{aligned} z_B &= Ez + \text{sign}(x - Ex) \cdot \\ &\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En - 3He}{En + 3He}. \quad (13) \end{aligned}$$

2) 将式(6)和式(7)合并为式(14), 称之为对称映射上临界曲面.

$$\begin{aligned} z_S &= Ez + \text{sign}(x - Ex) \cdot \\ &\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En + 3He}{En - 3He}. \quad (14) \end{aligned}$$

3) 将式(9)和式(12)合并为式(15), 称之为反对称映射下临界曲面.

$$\begin{aligned} z_{AB} &= Ez - \text{sign}(x - Ex) \cdot \\ &\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En - 3He}{En + 3He}. \quad (15) \end{aligned}$$

4) 将式(10)和式(11)合并为式(16), 称之为反对称映射上临界曲面.

$$\begin{aligned} z_{AS} &= Ez - \text{sign}(x - Ex) \cdot \\ &\sqrt{(x - Ex)^2 + (y - Ey)^2} \cdot \frac{En + 3He}{En - 3He}. \quad (16) \end{aligned}$$

推论1

1) 当 $Px \equiv Py \equiv Pz$ 时, 则 $\Delta_{\max} = 0$;

2) 当 $\lim He = 0$ 时, 则 $\lim \Delta_{\max} = 0$;

3) 当 $\lim He = 0$ 时, 则 $z_B = z_S = z_C, z_{AB} = z_{AS} = z_{AC}$.

证明

1) 由引理1可知, z 与正态分布随机数 Px, Py, Pz 无关, 显然 $z = \max(z) = \min(z)$, 即 $\Delta_{\max} = 0$.

2) 由定理1可知, 当 $\lim He = 0$ 时, 有 $K_{\max} = \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2} = 0$, 即 $\lim \Delta_{\max} = 0$.

实际上, 当 $\lim He = 0$ 时, 根据 Px, Py, Pz 定义, 有 $\lim Px = \lim Py = \lim Pz = En$.

3) 由定义5和引理1易知.

3 仿真实验与分析

由推论1的3)可知, 二维正态云模型单规则映射区域, 即式(3)实际上是由映射下临界曲面和映射上临界曲面所包括的空间区域. 由定义4, 对任意的定量双输入 x, y , 经过单规则推理所产生的定量输出 z 均在该空间区域内部, 其中, 映射核心曲面是该映射空间内的中心分界曲面. 当取 $Ex = 0, Ey = 0, Ez = 0, En = 0.3$ 时, 映射核心曲面如图1所示. 均值 Ex, Ey 和 Ez 体现了该映射空间的中心点, 熵 En 则体现了该映射空间的总体大小.

在定量输入 x, y 的激励下, 基于二维云模型单规则推理, Δ_{\max} 值体现了定量输出 z 的随机分布的最大偏差量, 该偏差反映了以核心曲面为中心的最大离散程度. 设 $Ex = 0, Ey = 0, Ez = 0$, 对任一组特定的定量输入 x, y , 由定理1可知, 定量输出 z 的最大离散距离 Δ_{\max} 仅与参数 En 和 He 有关, 即与最大离散系数 K_{\max} 有关.

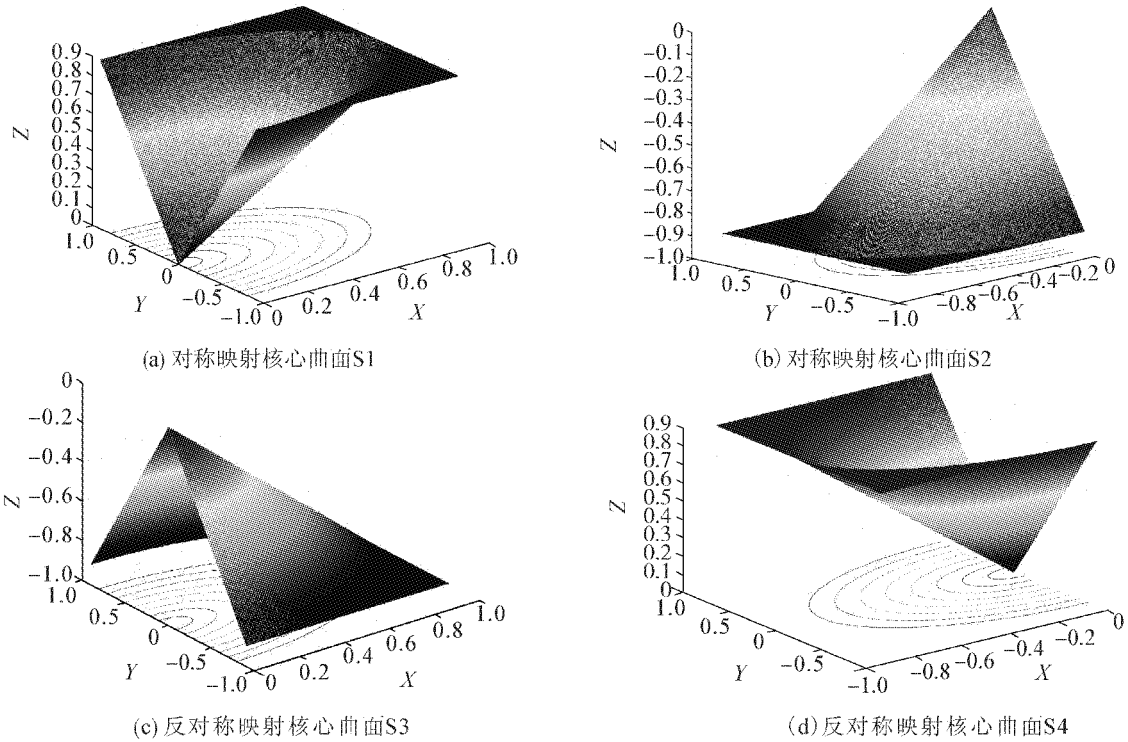
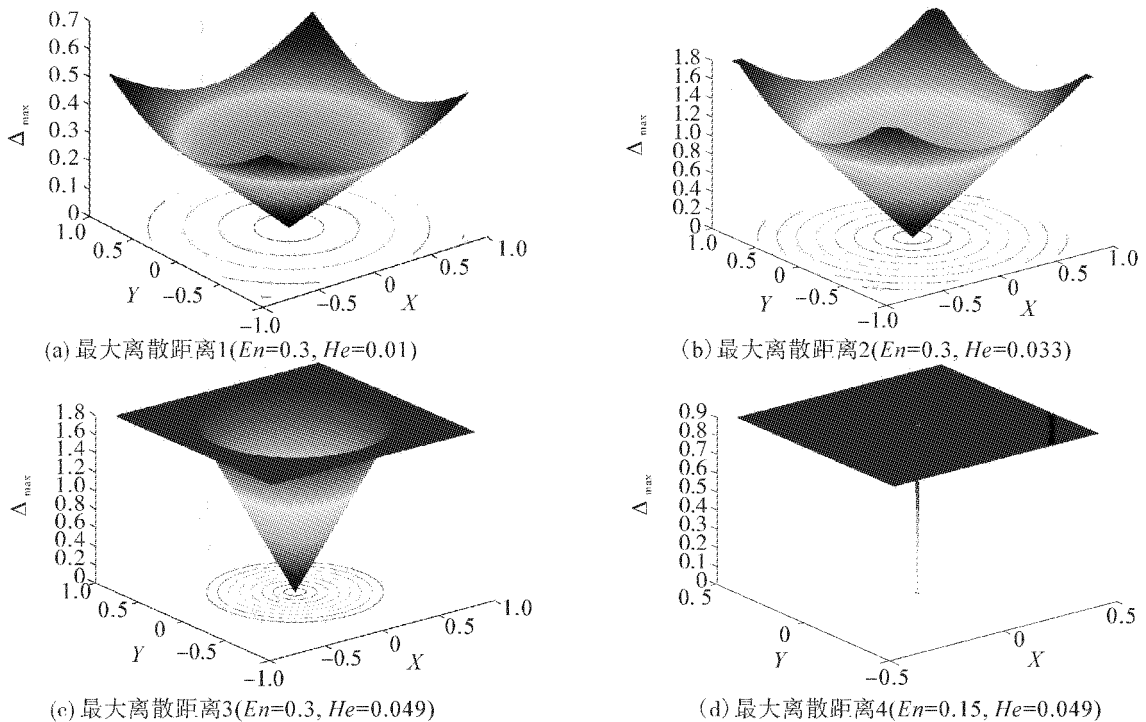


图1 二维云模型单规则映射核心区域

Fig.1 The core mapping areas of the single rule reasoning based on two dimension cloud model

图2(a)~(f)所示为单规则映射最大误差区域图,表1说明了图2中参数 En 和 He 对映射区域的影响关系. $\max(\Delta_{\max})$ 表示对 Δ_{\max} 取最大值,根据定理1, $\max(\Delta_{\max})$ 出现在输入 $(x, y) = (x \pm 3En, y \pm 3En)$ 处,当其超出 z 的变化范围 $(Ez - 3En, Ez + 3En)$

时,则取限幅值 $(Ez + 3En) - (Ez - 3En) = 6En$.显然, K_{\max} 越大, $\max(\Delta_{\max})$ 越容易达到限幅值,当 $K_{\max} = \sqrt{2}$ 时, $\max(\Delta_{\max})$ 仅在4个输入点 $(x, y) = (x \pm 3En, y \pm 3En)$ 达到限幅值,而其他则小于该限幅值(由定理1易知).



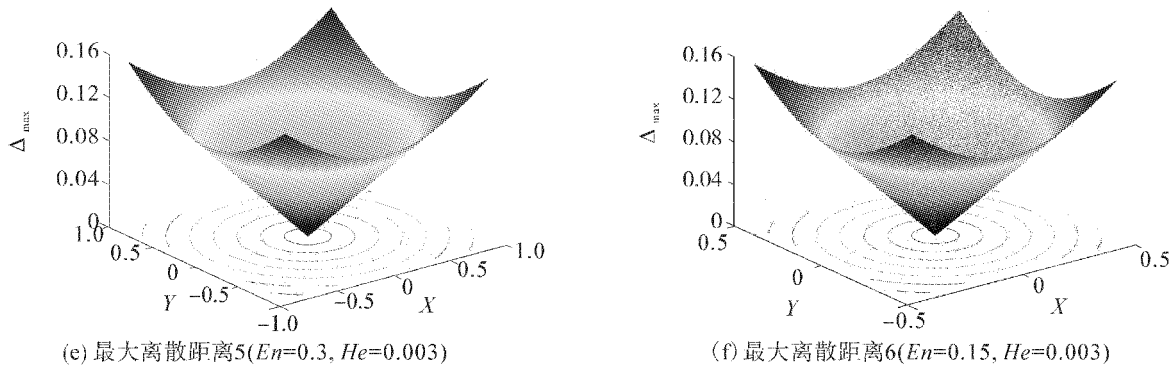


图2 单规则映射最大误差区域
Fig. 2 The maximal error areas for the single rule reasoning

表1 参数 En 和 He 对映射区域的影响
Table 1 The mapping the region of parameters En and He

En	He	区域	$\max(\Delta_{\max})$	K_{\max}
0.30	0.010	图2(a)	0.514	0.40
0.30	0.033	图2(b)	1.800(限幅)	1.48
0.30	0.049	图2(c)	1.800(限幅)	2.58
0.15	0.049	图2(d)	0.900(限幅)	98.99
0.30	0.003	图2(e)	0.153	0.12
0.15	0.003	图2(f)	0.153	0.24

注意到表1中图(e)和(f)的 $\max(\Delta_{\max})$ 几乎相同,似乎与参数 En 无关,且都约为0.153.事实上,

$$\max(\Delta_{\max}) = \sqrt{(3En)^2 + (3En)^2} \cdot \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2} = 36En \sqrt{2} \frac{12En \cdot He}{En^2 - 9He^2} = \frac{36\sqrt{2} \cdot En^2 \cdot He}{En^2 - 9He^2}$$

从工程应用角度考虑,当 $3He \ll En$ 时,可以考虑取 $\max(\Delta_{\max}) \approx \frac{36\sqrt{2} \cdot En^2 \cdot He}{En^2} = 36\sqrt{2}He$,因此,当 $He = 0.003$ 时,由 $3 \times 0.003 \ll 0.15$ 和 $3 \times 0.003 \ll 0.3$,则 $\max(\Delta_{\max}) \approx 36\sqrt{2}He = 36\sqrt{2} \times 0.003 \approx 0.1527$,该值受参数 En 的影响可以忽略.同理,在工程精度允许情况下,对图(a)也可以取 $\max(\Delta_{\max}) \approx 36\sqrt{2} \times 0.01 \approx 0.509$,与表1中的0.514相近,误差不到1%.

4 结束语

云模型近年来的研究与应用表明,将人的定性控制经验通过云模型转换到语言控制规则器中,可以实现从定量到定性、再从定性到定量的控制映射.本文对二维正态云模型的单规则推理过程及其映射关系进行了研究,揭示出这种映射关系与二维云模

型特征参数之间存在的关联规律,对云模型所蕴含的不确定性进行了新的量化阐述.基于本文的工作,今后将要研究的问题是:云模型特征参数对多规则推理映射的影响问题;基于云模型映射器的智能控制器设计及鲁棒控制问题等.

参考文献:

[1] 李德毅,孟海军,史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究和发展, 1995, 32(6): 15-20.
LI Deyi, MENG Haijun, SHI Xuemei. Membership clouds and membership cloud generators[J]. Computer Research and Development, 1995, 32(6): 15-20.

[2] LI Deyi. Knowledge representation in KDD based on linguistic atoms[J]. Journal of Computer Science and Technology, 1997, 12(6): 481-496.

[3] LI Deyi, HAN Jiawei, SHI Xuemei, et al. Knowledge representation and discovery based on linguistic atoms[J]. Knowledge-Based Systems, 1998, 10(7): 431-440.

[4] FAN Jianhua, LI Deyi. Mining classifications knowledge based on cloud models[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1999, 1574: 317-326.

[5] 李德毅,刘常昱,杜鹃,等. 不确定性人工智能[J]. 软件学报, 2004, 15(11): 1583-1594.
LI Deyi, LIU Changyu, DU Yi, et al. Artificial intelligence with uncertainty[J]. Journal of Software, 2004, 15(11): 1583-1594.

[6] 李众,杨一栋. 一种新的基于二维云模型不确定性推理的智能控制器[J]. 控制与决策, 2005, 20(8): 866-872.
LI Zhong, YANG Yidong. A novel intelligent controller based on uncertainty reasoning of two-dimension cloud model[J]. Control and Decision, 2005, 20(8): 866-872.

[7] 张飞舟,范跃祖,孙先仿. 基于云模型的导航系统模糊可靠性评测分析[J]. 自动化学报, 2002, 28(1): 126-130.
ZHANG Feizhou, FAN Yuezhu, SUN Xianfang. Assessment

- and analysis of fuzzy reliability based on cloud models in aircraft navigation system[J]. Acta Automatic Sinica, 2002, 28(1): 126-130.
- [8] 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性[J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28-34.
- LI Deyi, LIU Changyu. Study on the universality of the normal cloud model[J]. Engineering Science, 2004, 6(8): 28-34.
- [9] 李众, 杨一栋. 基于混合维云模型定性推理的调距桨螺旋距控制[J]. 南京航空航天大学学报, 2003, 35(2): 162-167.
- LI Zhong, YANG Yidong. The controllable pitch propeller control based on qualitative reasoning of variant dimension cloud model[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2003, 35(2): 162-167.
- [10] 李德毅, 邸凯昌, 李德仁, 等. 用语言云模型发掘关联规则[J]. 软件学报, 2000, 11(2): 143-158.
- LI Deyi, DI Kaichang, LI Deren, et al. Mining association rules with linguistic cloud models[J]. Journal of Software, 2000, 11(2): 143-158.
- [11] ZHANG Jinchun, HU Guyu. Application of uncertainty reasoning based on cloud model in time series prediction[J]. Journal of Zhejiang University Science, 2003, 4(5): 578-583.
- [12] LI Deyi, CHEUNG D, SHI Xuemei, et al. Uncertainty reasoning based on cloud models in controllers[J]. Computers & Mathematics with Applications, 1998, 35(3): 99-123.
- [13] 陈晖, 李德毅, 沈程智, 等. 云模型在倒立摆控制中的应用[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(10): 1180-1187.
- CHEN Hui, LI Deyi, SHEN Chengzhi, et al. A clouds model applied to controlling inverted pendulum[J]. Journal of Computer Research and Development, 1999, 36(10): 1180-1187.
- [14] 张飞舟, 范跃祖, 沈程智, 等. 利用云模型实现智能控制倒立摆[J]. 控制理论与应用, 2000, 17(4): 519-523.
- ZHANG Feizhou, FAN Yuezuo, SHEN Chengzhi, et al. Intelligent control inverted pendulum with cloud models[J]. Control Theory and Applications, 2000, 17(4): 519-523.
- [15] 高键, 姜长生, 李众. 一种新的云模型控制器设计[J]. 信息与控制, 2005, 34(2): 157-162.
- GAO Jian, JIANG Changsheng, LI Zhong. A novel design of controller based on the cloud model[J]. Information and Control, 2005, 34(2): 157-162.
- [16] 高键, 李众. 一维云模型映射器设计及其应用研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7): 1861-1865.
- GAO Jian, LI Zhong. Study on the design and application of one-dimension cloud model mapping processor[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(7): 1861-1865.
- [17] 刘艳, 李众, 吴晓庆. 基于推理映射的云模型控制器研究[J]. 江苏科技大学学报: 自然科学版, 2007, 21(2): 62-66.
- LIU Yan, LI Zhong, WU Xiaoqing. Research on cloud model controller based on reason mapping[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2007, 21(2): 62-66.
- [18] 李众, 刘艳. 一维正态云模型单规则推理映射研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(3): 702-705.
- LI Zhong, LIU Yan. Research on one-dimension normal cloud model single rule reasoning[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(3): 702-705.

作者简介:



李众, 男, 1964年生, 教授、博士, 主要研究方向为智能控制、电气自动化, 发表学术论文 50 余篇。



刘艳, 女, 1977年生, 讲师, 主要研究方向为模式识别与智能控制, 发表学术论文 10 余篇。