

毕业设计外文资料翻译

学 院： 信息科学与工程学院

专 业： 物联网工程

姓 名： 李圭印

学 号： 170707109

外文出处：Formalization of Fuzzy Control in

Possibility Theory via Rule Extraction

附 件： 1.外文资料翻译译文；2.外文原文。

|  |
| --- |
| 指导教师评语：  该生翻译的外文文献与本专业密切相关，译文表达基本准确，文字基本流畅，个别字句需要斟酌。  签名：  年 月 日 |

**附件1：外文资料翻译译文**

基于规则提取的可能性理论模糊控制形式化

WEI MEI陆军工程大学电子工程系，河北石家庄050003

电子邮件:meiwei@sina.com

摘要：可能性系统的概念源于模糊集的隶属度函数，近年来被认为是模糊集理论的一个潜在的基础理论。模糊控制是模糊集理论其中一种，已经在工程实践中得到了广泛的应用，其中控制律由模糊if-then规则描述。将模糊控制的模糊化过程视为从清晰输入中提取模糊变量的过程，将模糊if-then规则视为模糊输入/输出之间的提取规则，进而以可能性理论的框架来构建模糊控制。模糊控制的典型过程，如模糊化、隐含、聚集和去模糊化，最终被表述为由“最大积”算子操作的一系列条件可能性。重新表述的模糊控制器有一个更一般的形式，它包含了Mamdani模糊控制器这一特殊情况。讨论了可能性理论的一些基本概念，如随机性/模糊性、可能性、条件可能性等，这些概念有助于正确理解可能性理论。通过从条件可能性中推导出模糊关系的组成规则，努力把可能性理论和模糊集这两个系统连接起来。所有的结果都指向归一化可能性和非归一化可能性。本文着重强调了可能性理论在模糊集中的基础性作用，以及作为概率论处理具有模糊不确定性信息的补充方法的作用。

**关键词：**模糊控制；模糊逻辑；模糊集；可能性理论；规则提取

1 引言

近三十年来，模糊集，特别是模糊逻辑，在数量和种类上都有了显著的增长[1]-[5]。应用范围从消费产品，如照相机，洗衣机，微波炉扩展至工业过程控制，医疗仪器，和决策支持系统。起初，模糊逻辑控制系统的目标是通过人类的经验[6]来控制复杂的过程。然而，近年来，模糊控制工作中对“知识表示问题”的重视逐渐淡化。非线性系统的模糊建模与控制越来越受到人们的关注，模糊系统作为通用逼近器，通常用于识别控制设计中[7]、[8]、[37]所需的未知不确定性项。在模糊控制的应用方面，人们对将模糊逻辑与其他方法(如神经网络、卡尔曼滤波和遗传算法)集成在一起产生了极大的兴趣。其目标是提高对复杂、非线性动态植物的控制，如人体[1]-[3]，[9]-[11]。

Mamdani和Assilian首次将模糊集理论应用于系统控制，他们报道了实验室模型蒸汽机[6]、[9]、[12]的控制。值得注意的是，模糊控制的第一个工业应用是丹麦[13]水泥窑的控制。直到20世纪80年代末，在日本制造商推出了一系列带有模糊控制部件和系统的产品后，模糊控制开始成为公认的控制标准。模糊逻辑系统的理论起源可以归因于Zadeh[14]的论文《分析复杂系统和决策过程的新方法大纲》，其中推理的组合规则被认为是所有模糊逻辑模型[6]的脊梁。推理组合规则是一种模糊关系的特殊组合，其中每一个关系为一元关系。

尽管模糊控制的得到了广泛应用，但对模糊控制的逻辑解释的工作却很少。在[15]中声称，大多数被称为模糊推理的事物都可以被自然地理解为逻辑推理；并且在[16]中，提出了一种基于模糊逻辑规划的模糊控制方法。在[35]和[39]中讨论了可能性和模糊逻辑之间的联系，但仅停留在语义上。虽然可能性的概念起源于模糊集的隶属度函数，但近年来可能性系统被认为是模糊集理论的一个潜在的基础理论，模糊隶属度被认为是可能性似然[33]，[36]。在可能性理论的框架下，将推理的组合规则作为条件可能性的组合，研究推理的组合规则，特别是模糊控制。考虑到我们人类往往以一种灵活和不完整的方式来呈现模糊概念，所有的结果都指向了标准化可能性和非标准化可能性。

本文的其余部分组织如下。为了帮助理解和应用可能性理论，第二节和第三节讨论了一些与随机性、模糊性和可能性概念相关的基本问题。第四节试图将可能性理论和模糊集这两个系统连接起来，从条件可能性中推导出模糊关系的构成规则。第五节通过模糊规则提取，将可能性理论中的模糊控制形式化。重新表述的模糊控制器有了一个更一般的形式，它包含了Mamdani模糊控制器作为一个特殊情况。第6节给出了一个供暖系统的例子，为了说明在现有的Mamdani模糊控制器上，重新制定的模糊控制器的简洁形式和易于使用。第七部分则是全文的总结。

2 可能性:用于描述模糊性

从传统意义上来讲，信息的不确定性从本质上来说是随机的，因此必须用概率论[17]-[21]提供的方法来处理。近几十年来，作为随机性的对应物，模糊性被认为是另一种信息的不确定性，Zadeh提出了模糊集和可能性理论来应对它[22]。需要注意的是，可能性的概念来源于模糊集的隶属度。尽管如此，可能性的概念和计算规则至少可以追溯到一位名为Shackle[23]、[24]的经济学家的著作。为了对可能性理论有一个清晰的认识，本节从随机性和模糊性的概念入手，分别讨论了可能性的直观定义和公理定义。

2.1 从随机性到模糊性

模糊性是一种不同的不确定性，很容易与随机性混在一起。[25]中对随机性的定义如下：

定义1:随机性是指随机实验中非此即彼结果的发生不确定性，其特征是在相互排斥的结果中缺乏可预测性

Either-or表示实验结果是互斥的，即每个实验在样本空间(一个定义好的可能结果集合)中只能有一个结果。掷六面骰子是说明随机实验或随机性的一个经典案例。显然，每次你只能得到六个可能面其中的一面，这是不可预测的，不是这个就是那个(例如，1或2，或其他)。

随机实验结果互斥的样本空间可以进一步定义为随机样本空间[25]。随机事件、随机状态甚至随机实验都可以用一个随机变量在数学上表示。随机变量是一个变量，其值由于随机性而发生变化，它可以在随机样本空间中呈现一种随机现象(状态)的一组可能值，每个可能值都有相应的概率。

随机实验的结果是相互排斥的，而且无法预测。相比之下，模糊实验的结果是非排他性的，也没有明确的界限。模糊性的定义如下[25]。

定义2:模糊性是指模糊实验对两者和结果的认知不确定性，其特征是在非排他性结果之间缺乏明确的界限

两者都意味着实验结果不是排他性的，也就是说在每个实验中每个样本可能同时有多个结果。年龄的分类可以作为说明模糊实验或模糊性的一个例子。假设有人告诉你他的照片或者他的年龄(例如，42岁)，并请你根据年龄对这个人进行分类：{老年，中年，青年}，这是一个模糊现象的判断程序。你最可能认为42岁属于中年,但同时你也可以认为这个人是在某种程度上仍然年轻,并且你肯定不会愿意把这个人当作老年人因为我们老年人总是拒绝承认我们是老家伙。进一步讲，您分别有0、1和0.5的把握可以将此人视为老年人、中年人、青年人。因为他们之间没有明确的界限，不具有排他性，所以分类实验的结果(老年、中年、青年)是不确定的。换句话说，一个人可以同时获得一个包含多个非排他性结果的两种结果(中年和青年)。

具有非排他性的模糊实验结果的样本空间可定义为模糊样本空间[25]。模糊变量是一个变量，其值因模糊性而变化，它可以在一个模糊样本空间中取一组模糊现象(状态)的可能值在这个定义下，模糊变量在本质上代表了模糊现象、模糊状态甚至是模糊实验。

2.2 对可能性的直观/公理定义

在明确了模糊性的定义之后，我们将以直观定义[25]和公理定义[23]、[25]两种形式介绍可能性的概念。

定义3:可能性(直观的定义)是对both-and - fuzzy的度量，即实验的每一个结果的分类置信度。结果的可能性可以用模糊变量(被判断的状态)与其预期结果之间的相容性(或相似性)来描述，可以表示为

, (1)

其中“comp”意为一致性。

在上面根据年龄进行分类的例子中，老年人、中年人、青年人的可能性分别为0、1和0.5。也就是说，你将人分类为老年、中年、青年的把握分别为0、1和0.5，这表示被判断的状态(人的年龄分组)与预期结果(老年、中年、青年)的相容性。

定义4:可能性(公理定义)可以建立在可能性空间上，它是一个数学构造，可以用来模拟一个真实世界的过程(或“实验”)，这个过程由缺乏清晰边界的模糊状态组成。可能性空间由三部分组成:

1) 模糊样本空间(回想一下概率公理定义中的样本空间实际上是一个随机样本空间)，它是所有可能的非排他结果的集合。

2) ，该事件空间由事件集合组成，注意，每个事件都是一个包含零个或多个结果的集合，这些结果可能有更加实际的用途，而结果则是实验单个执行的结果。

3) 可能性测度，它是上的一个函数，满足以下三个公理:[22]，[32]，[35]

公理1. (非负性公理)为空集。

公理2. (正态性公理)整个模糊样本空间的测度等于1:。

公理3. (最大公理)，。

上述被广泛接受的可能性定义最初是在[22]中提出的，并在[25]中按照与概率公理定义相当的结构重新表述。

证明直观定义3和公理定义4之间的一致性是很容易的。在可能性直观定义的相容性解释下，我们可以看到，如果一个状态分别与具有和的置信事件和相容，那么它将与事件相容。例如，如果分别有1和0.5的把握将一个人判定为中年人和青年人，则有1的把握将此人判定为成年人（中年人和青年的集合）。这在逻辑下是成立的，这种逻辑是指如果我们承认一个人处于中年，那么我们就不例外地承认他是成熟的。等式被命名为可能性（一致性和相容性）的最大原则，这个原则不同于其他的定理和可能性。由于可能性的最大原则，直观的定义可以作为公理定义的基础。

定义4也被称为正常或规范化可能性[32]，[38]。显然，至少有一种属于集合元素应该是完全可能的，也就是说，,使得。然而，当这些元素不再存在时，它就会导致低于正态(或非规范化)的可能性分布。这种情况可能是由于数据[38]不完整造成的，或者在我们看来只是由于人类对模糊概念的不完整呈现。例如，给定一个温度范围，我们可以通过使用条件可能性定义两个模糊的概念“高”（h）和“低”（l），这将在下一节讨论。通常，例如给定温度，高的条件可能性和低的条件可能性都将低于1，最有可能是在0.5左右，这意味着。一个满足公理1和3的映射被称为非标准化可能性测度[32]，[38]。

我们当然可以通过引入更多的模糊概念使模糊样本空间完备来避免这种情况，即

, (2)

例如，我们还可以再定义一个模糊的概念“moderate”(m)从而来保证。但是，从第6节的一个模糊控制的例子可以看出，我们人类往往以简洁灵活的方式来处理事情，因此这是一种不完整的方式。在这种情况下，定义4可以稍作调整，用[32]、[38]下面的公理2代替公理2，以包含非规范化可能性。

公理2’.。

这项工作提出并遵循以下可能性提名。

正常可能性(或归一化可能性):满足公理1、公理2和公理3的可能性度量。

次正规可能性(或非规格化可能性):满足公理1和公理3的可能性度量。

一般可能性(或简称可能性):满足公理1、公理2 '和公理3的可能性度量。

注意，可能性包括正规化可能性和非正规化可能性。

3 条件可能性和可能性更新

不确定性理论的一个核心问题是不确定性推理，它在概率论中涉及到条件概率和概率更新。在本节中，我们将介绍条件可能性和可能性更新。

3.1 条件可能性和二元可能性

条件可能性是由Hisdal定义的，类似于概率论使用的形式为[34]，[35]的贝叶斯方程

, (3)

其中是两个相依模糊变量和的2元联合可能性函数，是给定的的条件可能性分布。

式(3)是基于最小的条件可能性概念。在连续的数值区域上，这种形式的条件导致了未设想的间断，并且最大公理不被保留[23]，[26]。条件可能性最好使用下面的乘积规则来定义

, (4)

通过使用" max "析取运算符，我们得到

, (5)

, (6)

其中

, (7)

, (8)

De Baets等人的[26]为基于产品的条件可能性概念提供了数学证明，就像在数值区域中的(4)一样，与基于最小条件的定性可能性理论相反。

在特殊情况下，模糊变量和是独立的，(4)可以重写为下面的“乘积”运算

*,* (9)

以产品为基础的条件可能性概念优于以最小为基础的概念可以通过直观的论证来证明。这可以用两个模糊变量和相互独立时的一个例子来说明，也可以推广到它们不相互独立时的一般情况。假设我们正在调查人的体质，这通常是身高和体型的联合模糊现象。高度的模糊样本空间为，形状Y。在符号表示中，并且。如果已知的和分别如表1和表2所示，那么你认为一个人的体格和高度的可能是多少？同样，处于between&middle的可能性？在数学上，已知和，我们如何处理呢？

表1. 可能性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| tall | middle | short |
| 1 | 0.5 | 0 |

表2. 可能性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| strong | Between | thin |
| 1 | 0.6 | 0 |

很明显，high&strong的可能性为1，其中“min”和“product”的应用会得到相同的结果。但是，“min”操作符是between&middle的可能性是0.5，“product”操作符是0.3。我们更倾向于认为，如果我们对两个模糊现象的置信度小于1，我们对置信度小于“min”的联合模糊现象的不确定性更大，而对它们的“min”置信度的不确定性更大。的结果列于表3。

表3. 可能性.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Strong | between | thin |
| tall | 1 | 0.6 | 0 |
| middle | 0.5 | 0.3 | 0 |
| short | 0 | 0 | 0 |

作为合取运算的对等物，析取运算符直接遵循可能性的最大值原则，重写为

*,* (10)

我们强调可能性的“最大”析取算子与概率的“可加性”析取算子完全不同，而概率可能性遵循相同的“乘积”合取算子。

3.2 可能性更新

由(4)、(6)和(8)可以推导出与贝叶斯推理平等价可能性更新方程为

*,* (11)

其中为后验可能性，为先验可能性，为的可能性似然函数，可由(8)计算。式(11)与[27]和[28]中的可能性更新方程略有不同，没有比例因子。

4 可能性理论的潜力作为模糊集的基础

本节试图将模糊集和可能性两种理论在两点上架起桥梁:1)将模糊集的隶属度函数解释为可能性的似然函数;2)通过抽取中间模糊变量，从条件可能性推导出模糊关系的组合规则。

4.1 模糊集作为可能性的似然函数

可能性的概念是一个隶属函数的概念，它起源于模糊集理论。设是一个模糊集合，其特征是隶属函数，解释为与标记为的概念的相容性，将可能性函数定义为数值上等于F的隶属函数，即[22]

*,* (12)

另一方面，人们正在努力将模糊集的隶属度函数解释为概率的似然函数(具有似然展开的条件概率，视为条件事件的函数)[29]-[32]。最近，模糊隶属度解释为可能性的似然函数被提出[33]，[36]。我们在这里证明，它不是概率似然，而是可能似然，本质上等于模糊成员。

我们对模糊隶属度的解释作一个改进的描述，即与标记为的概念的相容性，我们说是模糊概念变量与标记为的概念的相容性，给定模糊属性变量为。因此可以重写为

*,* (13)

需要注意的是，模糊隶属度的可能似然解释不同于概率可能性解释。可以看出，模糊集的隶属度函数等于带有似然展开的条件可能性函数，虽然可能性函数最初被认为等于隶属度函数。模糊隶属度的概念说明可能性系统可以作为模糊集理论的基础理论。

一般假设模糊集为规范化[6]，即

*,* (14)

然而，模糊隶属度通常是非归一化可能性的似然函数。要知道(14)对模糊集的归一化要求不同于定义4的公理2。前者通常在实际应用中更容易实现，这可以从第6节的模糊控制的例子中看出。

4.2 由条件可能性推导出模糊关系的合成规则

模糊关系可以用模糊集来表示，实际上可以用模糊集[6]，[14]的隶属度函数来表示。因此，模糊关系可以用条件可能性来表示。设和分别表示到和到的模糊关系，则到的模糊关系可以用表示为

*,* (15)

其中

*,* (16)

上面式(15)可以用可能性的析取/合取运算符推导出来。通过从模糊关系中提取中间模糊变量，得到

*,*  (17)

假设和是条件独立的,已知，我们还有

(18)

其中，假设和在下是条件无关的，由(16)定义。

通过(17)和(18)的组合，我们得到(15)。正如我们从(15)中看到的，两个模糊关系的复合等于两个条件可能性乘以因子的最大乘积运算。

5 基于特征提取的可能性理论中的模糊控制形式化

本节在可能性理论的框架下导出了经典的“Mamdani”模糊控制器[6]，其中推理的组合规则被解释为条件可能性的组合。

5.1 模糊控制综述

模糊控制是一种被广泛应用的控制方法，其特点是控制律由模糊if-then规则描述。图1描述了一个通用的所谓“Mamdani”模糊控制器，它由[6]五部分组成:

1. 输入变量的模糊化

获取输入并通过隶属度函数确定它们属于每个适当的模糊集的程度

1. 模糊运算符在先行词中的应用

输入被模糊化后，我们知道每个规则的前因词的每个部分被满足的程度。如果规则的先行词有多个部分，则应用模糊运算符(AND或OR)来获得一个表示规则先行词结果的数字。

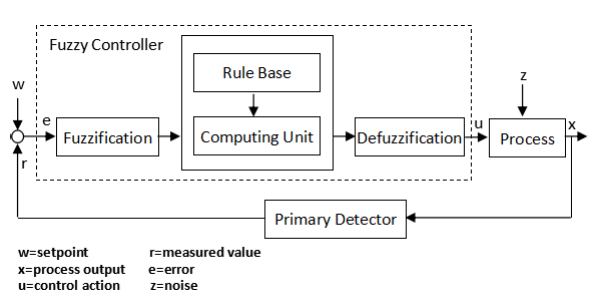


图1. 普通“Mamdani”模糊控制器.

1. 从先行词到后行词的含义

这个隐含的步骤通常被称为模糊if-then规则，每个规则都有一个规则权重。通过暗示，结果被重塑使用与先行词相关的功能。典型的隐含操作包括min(minimum)和prod (product)。每条规则都具有预先确定的规则权重。

1. 跨规则的结果聚合

这是一个将代表每个规则的输出的模糊集组合成一个单一模糊集的过程。

1. 反模糊化

反模糊化过程的输入是一个模糊集(总输出模糊集)，输出是一个单一的数字。

5.2 基于规则提取的可能性理论中的模糊控制形式化

根据图1的概念，模糊控制器的端到端函数可表示为一个目标函数为条件可能性的优化问题，即

*,* (19)

其中为模糊控制器的清晰输入，为输出。式(19)表示模糊控制器的目标是在给定清晰输入的前提下，找到具有最大可能性的正确输出。

通过引入模糊输出的，并遵循(15)的推导过程，可能性函数可以扩展为

*,* (20)

*,* (21)

其中条件可能性与去模糊化有关，它将模糊输出的转换成清晰的输出。(20)中的条件可能性可以进一步展开为

*,* (22)

*,* (23)

它包含了模糊if-then规则和模糊化的过程。模糊化过程将清晰的输入转化为模糊变量。

结合(20)∼(23)，我们得出

*,* (24)

*,* (25)

*,* (26)

从(24)中可以看出，通过操作符max实现了规则间结果的聚合。我们最终得到模糊控制器在可能性理论中表示为

*,* (27)

其中可以进一步展开，以考虑多个前因式的情况。(27)中的第二个”=”保持不变，因为和对于给定的来说是常数，不会对产生决定性作用。

模糊控制器(27)类似于Mamdani模糊控制器，其去模糊化过程为“最大值的最最大化”[6]。可以直接推导出具有不同消模糊度的模糊控制器。例如，通过引入一个等价于概率期望值的概念，将重心(COG)方法定义为[6]

*,* (28)

其中可由(24)计算。请注意，和对也没有影响，因为它们最终会从(28)的分子和分母中消去。

5.3 MAMDANI模糊控制器与新算法的比较

新设计的模糊控制器与Mamdani模糊控制器非常相似，具有相同的基本形式和五个典型程序。由(27)可以看出，模糊控制的典型过程，如模糊化、隐含、聚集和去模糊化，最终都是在可能性理论的框架下，由“最大积”算子操作的一系列条件可能性。注意，本文只考虑模糊关系的极大积运算，它与可能性的析取/合取运算符兼容。

如果我们仔细观察这两种方法，我们可以发现三个基本区别。

首先，这两种方法使用不同的函数将模糊输出映射到清晰输出。在(24)中，使用了以模糊输出为条件的可能性函数，它对给定模糊输出产生可能的清晰输出的可能性进行了建模。而现有的Mamdani模糊控制器使用的是定义模糊输出的隶属函数。虽然和在给定某个的情况下可以被定义为在数值上相等，但是对于从模糊输出到清晰输出的转换来说，前者更自然。

其次，这两种方法使用了不同的模糊if-then规则隐含形式和不同的聚合机制。对于Mamdani模糊控制器，模糊if-then规则通常是一对一的映射(即并行规则[6]、[35])。尽管存在一对多映射的情况，但它们通常被简化为一对一映射[6]。模糊if-then规则的聚合是通过对规则的结果应用最大运算符来完成的。每一个模糊if-then规则都可以分配一个权重因子。对于该模糊控制器，模糊if-then规则采用建模，可以处理更复杂的多对映射。的值表示模糊if-then规则的可信度(置信度)，相当于一个权重因子。通过模糊if-then规则的聚合由两个步骤完成，如(24)所示:对模糊输入应用最大运算符，然后对模糊输出应用最大运算符。上的极大算子作为一个局部优化。当形成对角矩阵时，模糊if-then规则简化为一对一映射，模糊输入上的最大算子将失效。同时，这两种方法具有相同的模糊if-then规则蕴涵形式和相同的聚合机制。

最后，新的模糊控制器的有两个额外的标度因子和，这两个因子帮助保持规范化,如果被定义为每个的归一化条件可能性，可以用(20)和(21)方便地验证。而对于Mamdani模糊控制器，表示为隶属函数，该隶属函数通常是由一些归一化隶属函数[6]，[35]派生而来的次归一化隶属函数。再次注意标准化成员资格(10)的要求不同于定义4中的公理2对于标准化可能性的要求。尽管如此，正如前面所讨论的，由(27)或(28)提供的最终清晰输出不受这两个因素的影响。

通过以上的比较，可以得出这样的结论:重新表述的模糊控制器是一种更一般的模糊控制器形式，它包含了Mamdani模糊控制器作为一种特例。它严格地从可能性理论推导而来，具有简洁优雅的形式。

6 房间供暖系统模糊控制举例说明

本节以[6]的房间供暖系统为例，说明了这两种模糊控制器。在本例中，控制器向供暖系统输出控制动作，根据所测得的房间温度，保持舒适的房间温度。我们目前还不知道如何使用非并行if-then规则来给出例子，因此，Mamdani模糊控制器和重新表述的模糊控制器有望产生相同的最终控制动作。尽管如此，我们希望这个例子能够说明在现有的Mamdani模糊控制器上的新形式化的简洁性和易用性。此外，通过实例说明由模糊集的隶属度函数导出的条件可能性函数一般是非归一化的。

6.1 设计模糊控制器参数

对于这两种模糊控制器，设计参数包括Mamdani模糊控制器的模糊化隶属度、以为形式的模糊if-then规则、条件可能性以及所提及的模糊控制器。

模糊控制器的输入信号为室温,它可以转化为模糊输入作为“非常低”(vl),“低”(l),“舒适”(c),“高”(h)。模糊化过程利用隶属函数实现,如图2所示。我们可以看到，对于每个()，满足(14)，而对于某个()，不满足定义4的公理2。因此，由图2定义的隶属函数归纳出的条件可能性函数是非规范化的，这反映了我们人类处理模糊概念的方式往往是简洁、灵活、不完整的。

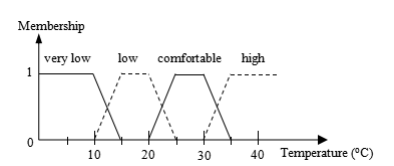


图2.模糊化成员 .

在本节的后面，我们将以归一化条件可能性的形式给出隶属度的定义，这是对模糊概念的完整而非通用的建模。

表4定义了形式的模糊if-then规则集，形成了一个对角矩阵。模糊输出的有三种可能的值:“大功率”(b)、“中功率”(m)和“小功率”(s)。请注意，表4有两列的小，这是故意用来使模糊if-then规则“并行”[6]

表4. 形式的模糊if-then规则

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | big | medium | small | small |
| very low | 1 | 0 | 0 | 0 |
| low | 0 | 1 | 0 | 0 |
| comfortable | 0 | 0 | 1 | 0 |
| high | 0 | 0 | 0 | 1 |

模糊输出到清晰输出的转换对于Mamdani模糊控制器是通过来实现的，对于所提模糊控制器是通过来实现的，其数值定义如图3所示。清晰的输出表示控制动作的信号幅度(如电压)。

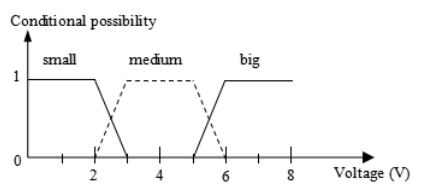


图3.条件可能性.

6.2 模糊控制器的计算过程

假设室温分别是和，让我们看看这两个模糊控制器的输出是什么。注意，在室温下是标准化的可能性，但非标准化的室温为。

如果输入信号，那么从图2我们知道和。然后，只有“如果，那么”的规则会被取消。根据(22)，我们有

其中

这意味着Mamdani模糊控制器和重新表述的模糊控制器具有相同的模糊输出“big”，且相同的可能性为1。由(20)就得到了

其中

这意味着两个模糊控制器将产生相同的清晰输出，的可能性相等。

利用图3中定义的(28)和的COG法，求出

如果输入信号，那么从图2我们知道，，和。然后，规则“如果那么”和规则“如果那么”将被启动。根据(22)，我们有

其中

这是对重新表述的模糊控制器的结果。对于Mamdani模糊控制器，和。由(20)就得到了

其中

这是对重新表述的模糊控制器的结果。对于Mamdani模糊控制器

利用图3中定义的(28)和的COG法，求出

这就是模糊控制器的结果。

现在，我们得到了最终的结果。给定室温是和，两个模糊控制器将输出控制动作和分别加热系统。然而，这两种方法的确产生了不同的。

6.3 模糊化隶属度的完整建模

完全建模是指模糊化隶属度以归一化条件可能性的形式存在。正如我们在本节前面所讨论的，从模糊化隶属关系归纳出的条件可能性是非规范化的。为了成为一种归一化的可能性并使模糊样本空间完整，我们可以通过调整隶属度函数的形状或为模糊输入引入额外的值来重新定义。图4定义了与图2不同形状的隶属度。正如我们所看到的，对于每一个，满足定义4的公理2，并且是一个标准化的可能性。然而，图2定义的隶属度比图4更灵活、更常见。图5定义的隶属度是模糊输入的附加值:“相当低”(rl)、“低”(l1)、“高”(lh)。图2和图5共同确保成员身份是一个归一化的可能性。

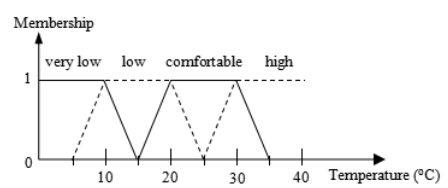


图4. 隶属度作为归一化可能性

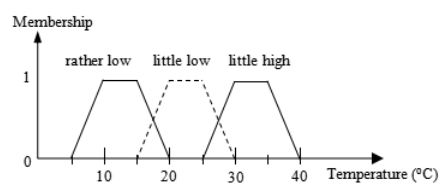


图5. 附加模糊输入的隶属度

注意，当定义的成员关系都是标准化的可能性时，和在(24)中都是1。

7 结 论

这一工作加强了可能性理论作为模糊集的基础的作用，并作为概率论处理模糊不确定性信息的补充方法。模糊集理论和可能性理论有两点联系:1)模糊集的隶属度函数可以解释为可能性的似然函数;2)模糊关系的复合等于条件可能性的复合。具体地说，经典的Mamdani模糊控制器是在可能性理论的框架下严格导出的。在未来的工作中，有必要探讨重新表述的模糊控制器在多对多规则映射情况下的应用。此外，在神经符号计算[40]-[42]框架下，探索模糊知识表示(以非并行if-then规则的形式)与神经学习的融合也是有益的。

魏梅，2004年在中国陆军工程大学获得控制科学与工程博士学位，现任副教授，教授多传感器目标跟踪、防空武器系统概论、火力控制与指挥控制系统等课程。他目前的研究兴趣包括目标跟踪、不确定性推理和机器学习。自2005年以来，他一直担任中国兵器工业集团公司的顾问，并被列入2010《世界名人录》。在2009年，他是一个政府资助的美国康涅狄格大学访问学者。

**附件2：外文原文**