

第一部分

不确定性环境中的决策

第一章

认知科学、决策技术与模糊集

摘要

认知科学、决策理论、人工智能、运筹学和模糊集理论是具有内在联系的几个学科领域。它们或者有着共同的起源以及研究主题，或者使用十分相似的研究方法。本文将对这几种学科之间的内在联系进行探讨，并试图分析它们之间的继承关系、共同特征以及基本差异。

1.1 引言

认知科学着眼于科学沉思中的一个最古老的主题，即人类对自身的思考。一个人进行思考、想象或感知的意义究竟是什么？人类的大脑是如何执行这些功能的，以及这些行为是否可以通过人工构造来进行模拟？在很长一段时间内，关于思考的科学沉思只能局限于哲学之中。有关这一分支的在科学上的努力也包括了心理学领域的贡献。在 19 世纪中，科学本身分化为许多更为专门的学科，心理学从哲学中分离出来并为已有的“哲学之足”加上了一条“经验之足”。此外在 20 世纪发展起来的一些新的科学领域，如决策理论、运筹学、管理科学以及人工智能，它们或多或少都与认知、决策、思考或信息处理有关。现在，我们所谈及的认知科学的含义已与 19 世纪中的定义大为不同，因而它的语义解释和语义范畴也会有所不同。在以下的

章节中 我们将试图以“认知关注”作为线索来追溯这些有点些许相似但又不同的领域之间的联系与差别,并希望藉此能够避免上述领域中的学者对不同领域中得到结果的误判。

1.2 认知科学与决策技术

首先 让我们仔细回顾一下认知科学的起源及发展。如前所述 可以在哲学中找到心理学的根源。毫无疑问,行为学派通过对以前只在自然科学领域才能使用的方法的应用来对心理学进行开发,这开启了通过试验和计算机模拟的方法来研究精神活动(mental process)的大门。然而,在另一方面,这种方法是将人类的大脑看为一个黑匣子,将感知简化为仅仅能够对“刺激-反应”模式进行观察。这就阻碍了我们为人类的精神活动来寻求更为全面的模型从这个意义来说,新型的认知科学直到 20 世纪 60 年代才开始发端。

在认知心理学领域,虽然认知心理学并没有从信息处理心理学(information-processing psychology)对计算机建模的热衷里分享到什么 但是计算机和程序(如,所谓的“逻辑思考器”,logic thinker)的出现的确对认知心理学产生了深刻的影响:

“从某些方面看来,计算机自身的行为与认知过程具有相似之处。计算机可以接受信息、处理符号、并将数据项存储于‘记忆器(内存)中并能够再次检索得到、将输入的信息进行分类、识别其模式等等。计算机对这些事情的处理是否与人们的行为一模一样并不重要,重要的是它们确实能够做到这些。计算机的出现为认知过程的(人工)再现提供了非常重要的保证……某些理论学者甚至主张所有的心理学理论都应该明确地写成计算机程序的形式^[4]”。

支持这些观点的理论学者包括 Newell, Simon 和 J. C. Shaw。他们所主张的“计算机程序可作为心理学理论”可以作为认知心理学与信息处理心理学的分界点。对于大多数认知心理学家来说,信息处理是对人类思索的隐喻而已,是一种将注意力集中在新鲜而有趣的问题上的方法。几乎没有认知心理学家在他们的理论中实现过信息处理模型——程序。

目前,在认知科学中公认的有两个主要的模式,它们都宣称能够为认知现象提供充分的模型:

1. 比较正统的认知科学的基本模式的特征是“思维的计算理论”。智能系统被视为“物理符号系统”,其智能行为的一个必需条件即内部符号化结构的规则推演操

作。这种方法在运筹学、认知决策理论和“传统”专家系统中仍十分通用。

2. 较新的认知科学模式是基于连接主义 (connectionism) 的, 其基本思路在于认为认知系统是由大量的原始子系统组成。可以将这种思路分为两个层次: 一方面, 对系统行为的全局认知情况进行考虑; 另一方面, 在更为微观的层面, 则对基本单元的局部交互作用进行考虑。这种模式是新兴的, 并朝着神经网络 (neural net) 的方向发展。目前, 这一模式基本上凭借神经网络理论逐渐进入正式的学科中, 例如人工智能。

尽管这两种模式在两个子学科中都可以找到, 但人工智能看上去仍然是一个十分工程化的学科, 它主要是为建立和实现智能系统提供方法。而认知心理学却是心理学的一部分, 它更加专注于在可控条件下对认知现象的经验性研究。人工智能 (AI) 领域内所使用的术语“智能”显然与它在心理学中的用法不同, 而更偏向于它在日常语言使用中的那种更注重直觉和含义非常不明确的术语的含义。

对这两种模式的优点和不足, 在这里不进行详细讨论。然而, 值得一提的是, 传统的模式在直觉上好像更为合适, 但有时却不尽然, 特别是在考虑专家系统的时候, 确切的说是专家的潜力: 例如, 非常普遍的情况是, 人类专家的特定推理能得以使用, 而这些推理是基于人类认知系统高度复杂的处理 (能力) 而获得的, 而它仅能用自然语言做出不完备的建模描述, 并很难用形式化语言进行描述。在这一方面, 模糊集理论在对语言变量和形式化运算符 (AND、OR 等) 的语义解释进行处理的经验研究所得到的结果就十分值得关注。利用第二种模式, 系统进行学习的能力可以通过认知上的独立层和神经元层而获得; 因此, 认知系统的设计者不需再为系统引入详尽的知识, 因为它们已被包含在系统的结构之中。

认知科学的真正目标在于研究认知系统的功能、结构和性能。因此, 只有通过建立一个以下两种策略基本上都可行的模型, 才能够对其有详尽的理解:

1. 自然认知系统的功能架构设计得越详尽越好, 以重构所期望的认知行为;
2. 通过对自然系统进行彻底的抽象, 以及尽量从已实现的人工系统的架构来实现认知过程。例如, 通过对这些系统进行实验, 并研究它们的“认知”行为。

根本上, 还需要确定出三个子目标:

- (1) 对自然认知系统的调查研究;
- (2) 对认知模型的有效性检验;
- (3) 对人工认知系统的设计。

看那些人工智能的手册和期刊时, 非常明显, 这一领域在过去三十年中的研究集中于大量理论以及应用主题上, 这些主题中的每一个都几乎发展壮大成为一个独

立的学科。这里可以简单列举一下：搜索、知识表达、自然语言理解、AI 编程语言、自动化编程、自动推理、视觉 (vision)、学习以及归纳推理和问题求解。其中最新也是最年轻的问题之一便是专家系统领域的研究，它的起源可以追溯到 20 世纪 50 或 60 年代，在美国匹兹堡的有关通用问题求解器 (general problem solver, GPS) 的研究。也许是由于缺少后来所涌现出的计算机高速处理能力，这类研究很快便从大众视野中消失。但在 20 世纪 80 年代，它又再次爆炸式地出现。

专家系统技术可以视为人工智能的子学科。我们可以从三个完全不同的角度，将专家系统划分为三类：

1. 作为一种特殊类型的计算机程序化的专家系统技术；
2. 作为通用问题求解器的子系统的专家系统，它用来处理那些只有依靠人类专家才能解决的非结构化问题；
3. 另一类则是那些在计算机应用程序市场上易于销售的商品化专家系统产品。

第一类：这类专家系统是非常面向计算机科学概念的，它强调说明了计算机科学对于人工智能的先驱作用。这也是最通用的方法，它可以被视为一种高级程序语言的扩展，而且，这里的程序概念或多或少地独立于应用领域和特定硬件。程序语言如 LISP、PROLOG 程序工具如 OPS5、KEE 等以及大量的所谓“外壳程序” (shell) 都属于这一类。

第二类：这类专家系统是基于现实与程序 (基于知识的推理引擎) 之间的明显差异来定义的，而这些程序已经应用于通用问题求解器之中。它也可视为对决策支持系统和其他认为问题状态能够从数学意义上进行结构化表达的计算机支持系统的一种扩展。这一点在考察所谓的“第二代专家系统”与“浅度知识” (真正的专家知识和“深度知识” (对应于决策支持系统中的传统算法知识) 时变得尤为明显。对于这种类型专家系统，我们能够明确断言其与通用问题求解器的父子继承关系。

这类专家系统通常具有如下特征：

- (1) 它们针对的是非结构化和不确定的问题；
- (2) 它们具有一定的推理能力；
- (3) 它们只能应用于较窄的特定领域；
- (4) 它们通过适当的表达形式来包含“专家知识”以替代或支持专家决策；
- (5) 它们具有专门的用户友好的交互系统接口；
- (6) 因为它们不能提供“准确性保证” (correctness-guaranty) 所以它们必须要能提供解释模块 (explanatory module)。

策技术、决策目标等，则通常意味着是说基于计算机的系统，或者是其他的支持系统，这些系统致力于帮助人类提高或者协助提高决策能力，例如电子数据处理系统 (EDP)。这些领域的主要目的不是寻求科学的真理而是对已有的系统或过程进行改善。

1.3 运筹学、决策技术与模糊集理论

运筹学、决策技术与模糊集理论经常会被同时提及，事实上，它们之间确实有许多共通之处。前面已经对决策技术的特征进行了简要说明，如要详细地描述运筹学与模糊集理论则远远超出了本文的讨论范围。因此，下面仅谈及它们的主要特征。

运筹学创立于 1937 年，可能是这三个领域中最古老甚至达到祖父级年龄的研究领域。其生命的黄金时期是否还会延续下去很大程度上取决于其未来发展方向。

运筹学与人工智能相似，并且就像我们将要看到的那样，它与模糊集理论也十分相似，运筹学与信息处理和决策制定具有很强的联系。它具有如下两个特征：

1. 具有多面性，即没有一个唯一的可被普遍接受的定义。有些人将之看为数学的一部分；另外一些人（包括我自己）把它看成一个不是像科学那样寻求真理而是致力于提高社会技术（sociotechnological）流程和系统的一种技术。当然它主要是利用一些数学的模型和方法。除了这些方法，启发式方法 heuristics 可能是第二类运筹学中最典型的工具，正是这一领域提供了与其他两个领域的绝大多数联系，这也可能是运筹学未来最具有潜力的发展方向。

2. 与人工智能相似，运筹学的发展也经过了多次起伏。在 20 世纪 50 和 60 年代它还仅限于解决数学上结构化的、主要是操作层面上的问题。其结果促进了强大的数学工具的发展，而那些非结构化或战略层面上的问题则遗留给那些更加定性的学科。这也导致了在 20 世纪 70 年代各公司纷纷关闭其运筹管理部门。同时一些著名学者也宣称“运筹学已死亡，仅仅只是尚未埋葬而已”。到 20 世纪 80 年代中期，运筹学的发展呈现出以往从未出现的转机。在 20 世纪 60 和 70 年代曾经阻碍运筹学成功应用的三个主要障碍消失了，即，数据的匮乏、有效软件的匮乏和高性能低成本硬件的匮乏。

现在我们转向第三个领域——模糊集理论，模糊集理论与认知科学至少在两个方面存在着明显的不同：模糊集理论是由 Lotfi Zadeh 教授^[9]所创建的。其次，它一开始是以一个形式化概念出现，而不是以研究诸如认知过程这样实际的目标而开始的。有一点一定不能被误解，即 Zadeh 的理念也许是通过观察到现实需要而

激发灵感所得，但最初的结果却是形式化的概念和理论。同时，模糊集理论以广泛的形式得到了发展，可以确信地说，这是因为这一理论的原始概念所蕴涵的高度潜力。其发展是以作为形式化理论进行的，关系到一系列专门的子理论（可能性理论（possibility theory）、粗糙集（rough sets）、命名集（named sets）等）同时也关注其应用及模糊理论的概念在其他领域中的使用，如数学领域（拓扑学等）、优化问题、数学规划、聚类理论、模糊控制、可能性推理、经济理论、多元分析以及不确定性建模。最后一个方面与其他诸如概率理论、信度理论（belief theory）及证据理论（evidence theory）有相当多的交叉。但我相信，模糊集理论在很大程度上使得人们意识到具有不同类别的不确定性（如词汇的不确定性等），而这些不确定性是之前人们完全没有意识到或者是不可能用概率理论进行建模的。现有的模型和理论的特征相当复杂多样。它们中的一部分能够确实被视为形式化科学，而另一部分可以视为是基于事实的科学（有时相当接近认知科学），而其他大量的模型和技术则可视为是相应的技术。模糊集理论在全世界范围内，在许多方向上都得到超乎想象的快速发展。这同时也带来了一些不足，即，大量已经存在的领域却缺乏一个能用统一术语或方法论将之归纳为一个同质的理论体系。至今，我们仍然还没有一个唯一的模糊性的语义解释，除非这意味着逐渐从一个极端走向另一个极端。然而，这可能意味着是从确定性到不可能性、从完全隶属到非隶属、从可行到不可行，或者从最优到远离最优。

由于本文并不是对模糊集理论的现状进行讨论，因此我们继续转向讨论运筹学、作为人工智能一部分的专家系统与模糊集理论（fuzzy set theory, FSTH）的内部联系：很明显，模糊集理论作为一个整体不可能纳入认知科学，因为模糊集理论的大部分内容根本就没有着眼于认知过程。尤其是对于模糊集理论的数学上的发展和在数学领域中的应用而言，更是如此。但在另一方面，以作者的角度来看，模糊集在心理学上的应用又明显属于认知心理学的一部分。

对模糊集理论与运筹学的关系也可以达成类似的陈述。模糊集理论肯定不是运筹学的一部分，但是如模糊线性规划可以认为是属于运筹学范畴。这种情况对模糊PERT方法、模糊多目标分析以及生产控制中的可能性推理方法也同样适用。

可能问题本身就提错了，与其讨论“模糊集理论是否属于认知科学、运筹学或人工智能”这种确信不可能有准确答案的问题，不如提问：“这三个领域进行潜在协作的效果是什么？”

以局外人的角度来看，有一个问题很难理解，即，在人工智能的某些领域，如知识表达、视觉、自然语言/口语理解等，在没有有效、合适的工具的情况下，如何根据依赖于背景的渐进关系和全称现象（generic phenomena）进行建模。这也许不一

定要用模糊集理论.但模糊集理论却肯定适用于这类问题.我认为之所以人工智能仍然完全忽视如模糊集理论之类的工具,其原因在于,在人的脑海中,几乎都会把不能二分的结构转换成二分的结构来进行处理.

1.4 决策科学能否作为保护伞?

至此我们可以做出结论:(新)认知科学、运筹学与模糊集理论这三者的交集并非空洞无物,但是这三个领域中没有任何一个可以囊括另外两个.

在我脑海里在所有这三个学科中扮演中心角色的现象是决策现象.应该承认,“决策”一词在这三个领域中的含义并不相同,甚至在任何两个领域中,该术语也无法在语义上唯一定义:在运筹学中,决策作为一种选择行为,即为当把优化模型作为特定决策模型之时人们所着眼的模型.在另一方面,如果在电子数据处理系统和人类用户之间已经设计了充分的接口时,运筹学人员更多是基于描述性决策理论的角度来进行考虑,而不是基于决策逻辑的角度.这与模糊集理论中的情况很相似:当 Bellmann 和 Zadeh 于 1970 年定义了“模糊环境下的决策”时,他们脑海中也一定存在一个标准决策理论的模型.此外,当在例如用于决策支持的专家系统背景环境下,对模糊集、语言变量和可能性推理进行讨论时,信息处理就成为了核心问题.

与认知过程的关系、它们的模式,或者是它们对决策的考虑是否是所讨论的这三个领域之间的最强联系?要回答这个问题可能非常困难.它们最具有共性的特征也许只是这样一个事实:即在所有这三个方面它们都具有相似的见解?

参考文献

- [1] Colby K M. Artificial Paranoia: Computer Simulation of Paranoid Process. Elmsford, New York: Pergamon Press, 1975
- [2] Lischka C, Diederich J. Gegenstand und Methode der Kognitionswissenschaft. Der-GMD-Spiegel 2/3, 1987: 21~ 31
- [3] Miller G A. Thinking, cognition, and learning. In: B. Berelson, ed. The Behavioral Sciences Today. Evanston, New York, 1964
- [4] Neisser U. Cognition and Reality. Freeman, San Francisco, 1976
- [5] Newell A, Simon H. The logic theory machine. IRE Transactions on Information Theory 3, 1956: 61~79
- [6] Pribram K H. On the neurology of thinking. Beh. Sc., 1959, 265

- [7] Pylyshyn Z W. *Computation and Cognition. Toward a Foundation of Cognitive Science*, MIT Press, Cambridge, 1984
- [8] Smolensky P. Connectionist AI, symbolic AI, and the brain. *Art. Int. Review* 1, 1987: 95~109
- [9] Zadeh L A. Fuzzy sets, *Inf. Control* 8, 1965: 338~353
- [10] Zimmermann H J. Testability and meaning of mathematical models in social sciences. *Math. Model* 1, 1980: 123~139
- [11] Zimmermann H J. *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Kluwer-Nijhoff, Boston, 1985
- [12] Zimmermann H J. *Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems*. Kluwer-Nijhoff, Boston, 1987
- [13] Zimmermann H J. Probabilistic and non-probabilistic representation of uncertainties in expert systems. In: G. Mitra, ed. *Mathematical Models for Decision Support*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1988, 613~630

第二章

根据信息的层次聚合进行决策与评估

摘要

在进行决策的时候，决策者通常会先认定一个用于对选择方案进行评估的指标层次体系。本文所研究的问题是对这些评估及其聚合建立适当的模型，以达成适当的全局评估函数，通过该函数，能够方便地对不同决策方案进行排序。通过应用模糊集来对评价指标（主观类别）进行表达，就能利用聚合算子作为合并评价标准的模型。在一项实证研究项目的体系中，曾经构建了一套用以衡量顾客信用价值（credit worthiness of customers）的指标层次体系。通过许多银行的信用经理对 50 个信用申请来进行评估，并将他们的判定结果用一个四层的指标层次体系来进行建模。

2.1 引言

为了进行最优决策方法或对可用的决策方法进行改进，人们已经提出了大量模型或算法。但是 在许多 —— 如果不是大多数的话 —— 模型中，由于不能有效应对现实决策环境的复杂性，“最优”解的可用性和质量会受到质疑。

通常，人们试图通过调整对问题的认知，以适应可用的模型类型来克服这些局限。其实更好的方法并不是设计特定的模型，而是开发建模原理，以使得实际模型能

尽可能地适应所要解决的实际问题。因此在决策理论中，十分有益也十分必要对人类决策过程中所使用的更为深刻的函数和算子加以研究。然而，可以预见的是，决策环境越复杂，为决策所进行的信息聚合中出现错误的概率也就越高。

利用现代信息处理技术的规范化聚合过程，很有可能降低错误率。然而，这些过程的模块应尽可能地与合理的人类思维过程相一致。我们希望能为决策者提供复杂的决策支持系统，而这些系统能在考虑到描述性和标准化（规范化）达到适当平衡的基础上，产生合理的且可接受的结果。

采用这类方法的一个必要条件就是对人类评估类别及其聚合进行建模。假设这些类别能够用模糊集来表示，那么模糊集理论中的规范连接词就能用作聚合模型。

最近的研究提出了一个与以往不同的算子^[19]，该算子能够容纳多个类别的互补特性。

特别需要说明的是，我们的兴趣通常关注于在多层次指标体系的实际决策情况下算子的能力。为了能对聚合系统进行描述，首先需要有一个描述性的模型，即一个范式（paradigm）。这个范式可以以一种易于理解的方式解释并描述某种行为的主要方面及其之间的关系。下面将正式给出对范式基本特征的描述。为了对该模型进行检验，该研究还进行了实证分析，对在典型决策环境下的模型的适当性进行检验。

2.2 范式

我们的范式假设人们或者学习或者生成“评估概念”或“主观类别”。这两个术语代表了事务的两个方面：前者表示可由一系列属性表示的集合的内在特征，而后者则强调目标的汇总（accumulation）（集合的外在特征）。在这里，我们假设人类掌握这些可以支配的概念或类别，并可在它们之间构造联系^[8]。

构成概念的属性应该是可解释的，而不仅仅是在心理学的层面上。它们可以由任何思想信息单元（mental information unit）来替代，如神经元所处的状态或者是语言中的形容词。实际上，关系可以通过算子、连接词、规则或其他一些对象来建模。

出于研究目的，我们将所讨论的情况限制为一种特定的合并模式，即假定在一个概念层次中存在多个复杂度水平（见图 2.1）。

结构的底层包含了最基本的信息，这些信息能够逐步聚合直至获得该体系结构的顶层概念。（详尽内容请参见文献 [21]。）

出于对模型应用实用性的考虑，我们将允许：

1. 子类对于各自的超类可以有不同的权重；

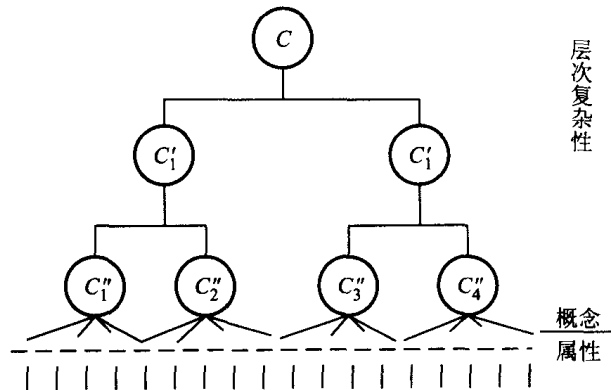


图 2.1 概念 / 类别的层次结构

2. 各层类别的描述可部分包含相同的属性。

2.3 建模工具

范式的两个基本方面为主观类别和连接词。

模糊集和模糊集理论的连接词分别为前者和后者提供了合适的形式化表示方法。由于我们试图通过试验证据来支持理论，因此我们必须决定采用什么样的方法来测量隶属度，并要选择适当的连接词，这些连接词的预测应该能经得起考验。进一步说 需要确定一个适合进行试验的环境。

最后，需要根据对评估层次体系的适合程度，对设计权重系统的一个或多个方法进行检验，以上四个问题将在下面几节中进行详细讨论。

2.3.1 隶属度测量

从测度论的观点来看，隶属度函数将一个经验性的关系 $\langle X, S_1, \dots, S_n \rangle$ 其中 X 为集合， S_1, \dots, S_n 为 n 元关系 映射到一个数值型关系上 该数值型关系包括 $[0, 1]$ 区间上的元素和一个 n 元关系 T_1, \dots, T_n ，即：

$$\mu : \langle X, S_1, \dots, S_n \rangle \rightarrow \langle [0, 1], T_1, \dots, T_n \rangle. \quad (1)$$

事实上 这个表达式需要一个公理系统^[15]，该系统中所包含的可以进行实验检测的公理越多 则公理系统就越有用。这种方法在测度论中仍然不可行。为了得到一个至少可行的工具，我们采用了在过去的一个项目中所开发的一种 ASI 方法^[14] 该方法是对经典测量方法 —— 连续区间法^[5]的改进版本。

对这种方法经过修改可以适应隶属度的实验测量. ASI 方法可以被认为是隶属度进行测量的操作方法. 在文献 [11, 13, 16] 中还给出了其他一些方案.

2.3.2 算子

为了构造更有用并能进行检测的模型, 下面对第二部分中所提到的层次结构中不同层次之间的关系进行讨论.

从内部而言, 集合论中高层概念由低层概念属性的并操作进行定义. 然而, 从外部而言, 高层概念等价于相关低层概念的交集^[21]. 最通用的表示这种聚合的算子是 \min . 所以我们的第一个假设记为:

$$H_1 : \mu_{\Theta} = \min(\mu_i), \quad (2)$$

其中, $\mu_{A_i}(x)$ 是元素 x 对集合 A_i 的隶属程度 (方便起见在式中省略了 x 和 A_i); $x \in X =$ 实际实体的论域; Θ 表示经验性超类的模糊集: $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m \subset \Theta \subset X$.

然而, 已经得到证明^[19] 的是, 这类算子仅在非常特殊的情形下才能产生可接受的预测结果. 这大概归源于人们经常是通过强调某一方面的特定属性来对另一方面属性的不足进行弥补.

在一些极端情形下, 完全弥补是可能的. 在这种情况下, \max 算子看起来是适用的. 因此, 我们的第二个假设记为:

$$H_2 : \mu_{\Theta} = \max(\mu_i). \quad (3)$$

为了对人类可评估行为进行建模, 要进行检验的候选算子群包含那些介于 \max 和 \min 之间的算子. 当然, 它们也应该满足连续性、严格单调性、单射性 (可由连续性和严格单调性蕴涵得到)、交换性 (由连续性、单射性和结合性^[1]蕴涵得到) 等必需的数学上的要求. 此外, 它们还应当与二元逻辑真值表相一致, 并能允许为不同的集合设置不同的权重.

不幸的是, 很难找到一个通用算子满足以上所有要求. 因此, 至少要放弃其中的一个要求才行. 最为苛刻的要求看起来是结合性, 因为它只能由中值^[7]来体现. 因此, 本文中将对此特性进行灵活处理.

一个简单且众所周知的满足余下要求的算子是加权几何平均:

$$H_3 : \mu_{\Theta} = \left(\prod_{i=1}^m \mu_i^{\delta_i} \right) \quad \text{和} \quad \sum \delta_i = 1. \quad (4)$$

在此问题中，人们可能会同样认为加权算术平均也是一种可能的假设。但是应该认识到，这个算子不符合以上所要求的二元逻辑真值表。最后，应将 γ -模型加入进行比较。这种模型代表了由一个独立参数来表示补偿程度的一类算子。通过将 γ 设定为固定常数的方法可以得到一个具体的算子：

$$H_3 : \mu_{\Theta} = \left(\prod_{i=1}^m \mu_i^{\delta_i} \right)^{1-\gamma} \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_i)^{\delta_i} \right)^{1-\gamma} . \quad (5)$$

这个模型是由乘积和代数和构成的凸组合，乘积和代数和分别是交和并的代数表示。前面已经给出了此概念聚合体系中的一个形式化推论^[21]和由实验室实验进行预测质量的经验性检验^[19]。

可以很容易地通过在 0、最小、最大和 1 之间对算子进行调整来扩大假设集。但目前来说，很难对这些模型的内在含义进行判断，因为它们在所评估问题中并没有起到什么作用。然而，如果所有提出的算子都无法成功地对数据进行预测的话，检查结果应该可以提供一些建议，是不是应该从最小之下，最大之上，或者介于最大最小聚合的两个边界之间的范围中寻找“真实的”模型。

2.3.3 决策情况

在对信用价值的评估方面，可以根据以下因素来寻找适合的决策环境。

1. 即使该环境相对而言是透明且可定义的，但这仍然是一个相当复杂的决策问题，此外，该环境应高度标准化。即使是来自不同组织的测试人员也可以采用相似的评价模式。
2. 可以获得足够多的决策者，这些决策者具有相同的培训背景和相似的能力水平。
3. 要解决的决策问题能够被公式化表达，并能用兼顾内容和表现的现实方式进行表达。

2.3.4 权重体系

通常，和评估有关的不同指标对最终判定具有不同重要性。因此，应当构造一个可靠且有效的权重体系。这个系统应该允许表达“方面 A 的重要性是方面 B 重要性的 g 倍”即权重测量得到的至少是一个比率测量值。由于缺乏间接的技术来提供这种水平的测量值，以适应于我们的问题结构，我们选择了直接方式。不过，这种类型的测量作为测度工具而言，对主观判断的要求更强。为了规避不必要的风险，我们检验了三个不同的过程常数和单一标准。见参考文献 [15]，第 104 页与逐

步差异化。第一种方法要求最高的试验能力和计算能力，但是从理论角度出发，它也是最能满足要求的。

另一方面，逐步差异化是一个非常经济的过程。它已经通过概念层次（concept hierarchy）的直接视图（direct view）设计得到。只要求测试人员简单地将三个横栏分别分成 n_i （= 第 i 层中的概念数）段，其长度直接反映其在第 i 层的相对重要程度（见图 2.2）。评价者先用竖线将最高层划为两部分（财务基础和个人情况）将这条线延伸至最底层。然后，与上类似，考虑已被划分的部分，第二个长条被分成了四部分。第三层类似地被分为八部分。就像“逐步差异化”所表达的那样，评价者一步步地对加权系统进行修正。当然，层次结构中的某些层次也可以被划分为三部分或者更多的部分。



图 2.2 根据层 i 中各个方面的相对重要程度将三个长条 I, II, III) 划为 n_i 段的例子

我们希望通过权重的三种结果集（将在第 6.1 节中给出）的比较，能够得到对最恰当技术进行选择的基本原则。

2.4 信用价值概念层次的构建

在进行实证研究之前，有必要先讨论一个问题，即是否能够建立信用价值的概念体系。因此，我们按照六人一组，共三组信用委托人被邀请来设计一个层次结构系统，以对贷款者进行评估。总共安排了三次会议，每次会议持续五个小时，分三个部分进行。

部分 I：在对基本问题和研究目的进行介绍后，向参与者解释他们的工作。然后，要求他们在深思熟虑后，对虚构的四份填写完整的贷款人信用申请鉴定等级。

最后，要求每个专家都在纸上设计出信用价值的概念层次。在此基础上，小组成员尝试寻找出一个通用的由高层逐步细化到底层的指标体系。

部分 II 通过另外四个的信用申请，对系统进行尽可能的扩充、优化和修改。

部分 III 经过对方案的澄清并达成一致，删去多余的方面。在得到组内大部分成员同意之后，才能接受对每个概念的扩展。

最终的概念层次具有对称结构（见图 2.3）。信用专家将对申请人的财务基础和个人情况两部分进行辨别。所谓财务基础包括不动产、动产、资产和流动资金及其