

1-5

99,26(12)

人工智能

形式化

逻辑工具

意识属性

计算机科学 1999 Vol. 26 No. 12

Agent 形式化研究的逻辑工具^{*}

The Logic Tool Used in the Formalized Research on Agent

胡山立

石纯一

TP18

(福州大学计算机系 福州 350002) (清华大学计算机系 北京 100084)

Abstract The formalized research on agent has become an important issue in artificial intelligence, computational linguistics and philosophical logic. This paper discusses intentional stance, intentional systems and intentional attitudes of agent, analyses the logic tool used in the agent's formalized research, demonstrates the problems existed and argues that mixed modal logic, which has both normal and non-normal modal operators, would be the logic tool used in agent. And finally introduces our related work.

Keywords Agent, Intentional stance, Modal logic, Possible world

Agent 在 AI/DAI 和其他计算机学科中正成为一个广泛使用、十分重要的概念,由此产生了一系列新的思想、方法和技术,甚至有人把“基于 Agent 计算”誉为“软件开发的又一重大突破”^[1]。有关 Agent 的理论、技术的研究和应用引起了人们的高度重视和极大兴趣。近年来,关于 Agent 的形式化研究已成为人工智能、哲学逻辑和计算语言学共同关心的重要课题,有着广泛的应用^[2-4]。

1 把 Agent 看作意识系统

使用诸如相信、想要、希望等意识状态的观点来解释人类的行为一直是心理学界所采用的方法并已经取得了丰富的成果。

Dennett 描述了人们看待系统的立场:(1)物理立场,基于系统的物理特性和规律;(2)设计立场,基于系统的设计目标;(3)意识立场,把系统看作理性主体,通过信念、愿望和其他意识属性来预测它的行为。人们会选择最简单、有说服力的立场,把那些能够对其信念、愿望等意识属性特征化并通过这种方法预测其行为的复杂实体或系统称为意识系统(intentional system)^[5]。Haddadi 认为可将通常应用于人类自身行为描述的一些认识概念如信念、意图、承诺等赋予 Agent 系统,并称由这些意识属性构成的系统为意识系统^[6]。

许多学者认为把 Agent 作为意识系统来研究是合理和有利的。Wooldridge 等在综述智能 Agent 理论

中^[7],Shoham 在讨论什么是 Agent 时^[2],都引用了著名 AI 学者 McCarthy 关于意识属性的论述:将信念、愿望、意图和能力等意识概念赋予一台机器,如果这种赋予对机器而言所表达的信息如同把它们赋予人所能表达的信息一样,那么这种赋予是合理的;当这有助于我们了解那台机器的结构、它过去或将来的行为,或如何修正和改进它时,这种赋予也是有用的;这种赋予也许从未是逻辑上需要的(即使对人而言),但是要合理地表达在某种特定情形下,机器的实际状态到底怎样时,采用精神特性或类似性质来描述是有必要的;我们可以为机器建立比较简单(与人相比)的信念、知识和愿望理论,并最终将其应用于人。

对于把 Agent 看作意识系统的好处,Singh 认为:(1)对于设计者和分析者来说,这样是自然的;(2)为描述复杂系统的行为提供了简洁的表示,有利于理解和解释;(3)不依赖于具体的物理实现就可以得到 Agent 行为的规则和模式;(4)可被 Agent 自身用来互相推理^[8]。

实践表明,对于那些很复杂的系统,即使已经拥有了完全详尽的结构和工作机理的描述,也很难从设计立场来预测和解释它的行为。在这种场合,就更适合采用一种意识立场的描述。意识态度和意识系统是一种抽象工具,为人们描述、解释和预测复杂系统的行为提供了一种方便且熟悉的方式^[1]。

总之,意识属性和意识系统是用来描述和研究 Agent 及其有关问题的合适的抽象概念和工具。

^{*}国家自然科学基金资助(69773026,69733020)。胡山立 清华大学访问学者。

2 Agent 的意识属性

为了描述 Agent 应该采用哪些意识属性呢? 意识属性是一系列认知概念的统称, 不同的认知概念具有不同的功能和特点, 在描述 Agent 时起不同作用。下面是一些研究者对意识属性的不同分类和认识。

Kiss^[9]把意识属性分为三类: 认知类, 指通常意义下的认知概念, 如信念、知识、意识等; 意图类, 指在某种企图驱动下去执行某一动作或控制, 如意图、承诺、规划等; 偏好类, 指与 Agent 动态行为相关的那些意识属性, 如目标、期望、偏爱等。

Shoham 和 Cousins^[10]根据应用特点, 把意识属性分为: 信息型 (informational), 用于描述 Agent 所具有的信息, 如信念、知识、意识等, 他们认为人们已对信息型意识属性作了大量研究, 对其含义和性质已达成共识; 动机型在一定程度上与 Agent 的动作选择相关, 如意图、选择、目标、祝愿、想要、承诺、规划、愿望、偏爱等, 他们认为人们目前对这类意识属性的研究还不够成熟; 社会型与 Agent 的社会、道德或理性行为有关, 如责任、允许等; 其它类型, 如恐惧、喜欢等, 大多与应用领域相关, 他们认为目前人们对后两种类型意识属性的研究还比较有限。

Cohen & Levesque^[11], Rao & Georgeff^[12]认为 Agent 模型是信念 (belief)、愿望 (desire) 或目标 (goal) 和意识 (intention) 三元认知结构, 即著名的 BDI 模型。

Singh^[8]则认为信念、意图和 Know-how 是 Agent 三个基本要素。

Wooldridge 等^[13]把单个 Agent 应具有的意识属性分为两类, 一类是 information attitude, 指 Agent 掌握的关于自己、环境和其它 Agent 的信息和知识, 这类属性包括信念和知识; 另一类是 pro-attitude, 指那些能导致 Agent 执行动作的属性, 包括愿望、目标、意图、承诺、选择、责任、能力等。他们认为合理地描述 Agent 应包含至少一个 information attitude 和至少一个 pro-attitude, 并且这两类意识属性之间有密切联系, 因为 Agent 进行选择、构成意图必须基于它所掌握的信息。这里, 如在 information attitude 类中选择信念 (belief), 在 pro-attitude 类中选择意图 (intention) 则可称为 BI 模型。

目前, 我们仍不清楚上述意识属性是否足以认识和描述 Agent, 哪些意识属性是重要和必需的, 哪些意识属性组合对 Agent 更合适。我们认为 BDI 模型或 Wooldridge 的 BI 模型具有代表性, 基本上反映了 Agent 意识属性的本质特征, 本文将以此为基础展开讨论。

3 Agent——BDI 模型和正规模态逻辑

Agent 的理论研究应以什么为形式化工具? 事实表明采用经典命题和一阶逻辑是不合适的。这是因为, 在语法方面, 经典逻辑的合式公式无法正确表示带有意识概念的命题。在语义方面, 首先, 经典逻辑通常对任何命题只能回答真或假, 而意识概念不具备真值功能; 其次, 意识概念是所谓参照不透明的 (referentially opaque)。研究结果表明, 信念、目标和意图等意识概念实质上是模态概念, 其表示和推理的最适宜的形式化工具是模态逻辑和可能世界语义^[1]。语法方面, 通过在公式中加入一些非真值功能的模态算子, 构成模态语言; 语义方面, 用可能世界和可及关系来解释信念、目标、意图等意识概念的含义。

关于模态逻辑和可能世界语义的研究, 目前已形成一整套的相关理论, 成为表示和推理智能 Agent 和多 Agent 系统的最有吸引力的形式化工具。至今为止, 模态逻辑理论的主要部分是关于正规系统或正规模态逻辑的, 这主要是因为正规系统的简单性, 易于技术处理。目前已形成了关于正规系统类的一般性质的理论与研究^[11]。因此, 在 AI 领域, Agent 的理论研究通常基于正规模态逻辑, 正规模态逻辑的语义基础是 Kripke 可能世界语义。为了便于讨论正规模态逻辑在描述 Agent 结构时存在的问题及其根源, 下面以模态命题逻辑为例, 简要陈述其 Kripke 语义模型。

经典命题逻辑语言不能描述含模态词的命题, 我们需要引入一些新的逻辑符号来表示模态概念, 通常用符号 $\Box$ 表示“必然”, $\Diamond$ 表示“可能”, 在不同的模态逻辑系统中, $\Box$ 表示不同的意义, 如在信念逻辑中, $\Box$ 表示“相信”, 在知道逻辑中, $\Box$ 表示“知道”。定义 $\Diamond\alpha = \neg\Box\neg\alpha$ 。莱布尼茨利用“可能世界”来解释模态词, 1963 年 Kripke 将其表述得更为严格。

定义 1 设 L_{pm} 为模态命题逻辑语言, W 为一非空集, R 为 W 上的一个二元关系, Φ 为 L_{pm} 中的原子命题集, V 为 $\Phi \times W$ 到 $\{0, 1\}$ 上的映射, 则称三元组 $\langle W, R, V \rangle$ 为 L_{pm} 的一个模型。

利用莱布尼茨的解释, W 表示可能世界集, R 反映可能世界之间的关系, 称为可及关系, 函数 V 给出了原子命题在每个可能世界中的真值。为方便计, 对任 $w \in W$, 记 $R(w) = \{w' \mid w' \in W \text{ 且 } Rww'\}$ 。

定义 2 设 $M = \langle W, R, V \rangle$ 是一个 L_{pm} 模型, $w \in W$, α, β 是 L_{pm} 公式。

(1) 若 $P \in \Phi$ 是原子命题, 则 $\langle M, w \rangle \models p$ 当且仅当 $V(p, w) = 1$;

(2) $\langle M, w \rangle \models \neg\alpha$, 当且仅当 $\langle M, w \rangle \models \alpha$ 不成立;

(3) $\langle M, w \rangle \models \alpha \rightarrow \beta$, 当且仅当 若 $\langle M, w \rangle \models \alpha$, 则

$(M, w) \models \beta$;

(4) $(M, w) \models \Box \alpha$, 当且仅当 对所有 $w' \in R(w)$ 有 $(M, w') \models \alpha$;

若对每个 $w \in W$ 均有 $(M, w) \models \alpha$, 则称 α 在 M 中有效, 记为 $M \models \alpha$ 。

根据上列定义, 容易验证, $(M, w) \models \Diamond \alpha$, 当且仅当, 存在 $w' \in R(w)$ 使 $(M, w') \models \alpha$ 。

对非空集 W 及 W 上的二元关系 R , 称二元组 $F = (W, R)$ 为一个框架。若 $M = (W, R, V)$ 为一个 Lpm 模型, 则称 M 为基于 F 的模型。若公式 α 在基于 F 的任何模型 M 中有效, 则称 α 在框架 F 中有效, 记为 $F \models \alpha$ 。

所谓正规模态逻辑系统指的是经典命题逻辑系统 P 含有公理(或定理) $K: \Box(p \rightarrow q) \rightarrow (\Box p \rightarrow \Box q)$ 和必然化规则 $N: \vdash \alpha \Rightarrow \vdash \Box \alpha$ 的扩张。系统 P 增加公理 K 和规则 N 得到的系统称为系统 K , 它是最小的正规模态逻辑系统。

4 “逻辑全知”问题及其根源

由于有公理 K 和必然化规则 N , 正规模态逻辑存在“逻辑全知”(Logical Omniscience)问题。这一问题以及由此带来的其他一系列问题给 Agent 理论研究带来困难。Linder 等人^[14]总结了在正规模态逻辑系统中与逻辑全知有关的以下七个有效命题。

设 α 和 β 是公式, X 是一个模态算子, 例如意图:

- (L01) $\vdash X\alpha \wedge X(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow X\beta$;
- (L02) $\vdash \alpha \Rightarrow \vdash X\alpha$;
- (L03) $\vdash \alpha \rightarrow \beta \Rightarrow \vdash X\alpha \rightarrow X\beta$;
- (L04) $\vdash \alpha \leftrightarrow \beta \Rightarrow \vdash X\alpha \leftrightarrow X\beta$;
- (L05) $\vdash (X\alpha \wedge X\beta) \rightarrow X(\alpha \wedge \beta)$;
- (L06) $\vdash X\alpha \rightarrow X(\alpha \vee \beta)$;
- (L07) $\vdash \rightarrow (X\alpha \wedge X \rightarrow \alpha)$ 。

其中 (L01) 是 K 公理, (L02) 是必然化规则 N , (L03) 就是副作用问题, (L02) 是无为而治问题 (transference problem), (L04) 没什么坏处, (L05) 我们认为在引进时间概念后也没有什么坏处, (L06) 是副作用问题的特例, (L07) 被认为是实现理性所必须的。

为了分析“逻辑全知”问题的根源和寻求我们所需要的模态逻辑系统, 下面, 以模态命题逻辑系统的构成为例展开讨论。在给定形式语言(例如 Lpm)情况下, 所谓一个系统的构造或给出, 指的是系统的公理和初始推理规则的设立或选定。模态命题逻辑系统是经典命题逻辑系统 P 的扩张, 即在 P 的公理和初始推理规则基础上增加新的公理和初始推理规则形成的系统。究竟应增加什么公理和初始推理规则, 又有什么依据呢? 大体上有从语法考虑和从语义考虑两种。

从语法考虑, 一个公式是否可作为一个系统 S 的公理, 主要考虑一致性和独立性。初始推理规则的考虑

与此类似。显然这种构造系统的方法与实际应用背景脱节, 不是我们所需要的。

从语义考虑, 又有两种做法, 一是根据形式语义学来构造系统, 即先给出形式语义, 建立严格的有效性概念, 由此找出该有效性下的主体逻辑规律并将其公理化。我们在上一节给出的模型、框架、有效性等均是形式语义学概念, 其中没有可能世界集和可及关系而是集 W 和二元关系 R , 尽管对于我们的问题, 它可以解释或理解为可能世界集和可及关系, 现在我们要问, 在上节定义下, 实际上给出的是怎样一个模态命题逻辑系统呢, 答案是: 最小正规模态逻辑系统 K , 即它是经典命题逻辑系统 P 增加公理 K 和必然化规则 N 的扩张, 因为我们有:

定理 1 公理 K 和必然化规则 N 在框架 F 下有效。

定理 2 正规模态逻辑系统 K 是可靠的, 即若 $\vdash \alpha$, 则 $F \models \alpha$ 。

定理 3 正规模态逻辑系统 K 是完备的, 即若 $F \models \alpha$, 则 $\vdash \alpha$ 。

由此我们可以得出结论: 只要采用上节的 Kripke 语义模型和有效性定义, 则公理 K 和规则 N 有效, 从而相应的完备的模态命题逻辑系统必包含公理 K 和规则 N (即是正规模态系统), 这样就不可避免地存在“逻辑全知”问题, 所以我们不可能在正规模态逻辑系统中解决“逻辑全知”问题。

另一种做法是从应用背景出发, 确定一些模态逻辑规律和原则, 即选定公理和初始推理规则, 建立模态逻辑系统, 再寻找相应的形式语义, 证明它的可靠性和完备性。在系统 P 的基础上, Agent 的意识属性: 信念、目标、意图等一般都需要公理 K , 而不需要规则 N 。没有规则 N (当然也就不是正规模态逻辑系统了) 就避免了“逻辑全知”问题。这里的问题是要寻求相应的形式语义, 使公理 K 有效而规则 N 不有效。

5 进一步的研究和我们的工作

为了克服上述问题, 人们做了大量的工作, 有的仍是基于可能世界语义的, 但没有满意的结果, 这是因为, 正如上一节所分析的, 造成这些问题的根源正是可能世界语义。另一些工作则采用了其他形式化方法, 有代表性的可分为二类, 语法的和语义的。语法方法: 例如 Konolige 的演绎信念模型^[15], 通过给出一个信念基集和一组不完备的推理规则, 由此生成信念的演绎闭包。该方法的缺点是: 一是缺乏相应的语义理论, 二是信念基集的选择往往是人为了, 不适于描述人的信念活动。语义方法: 例如 Levesque 的隐式和显式信念逻辑^[16], 隐式信念的语义仍是标准的可能世界语义, 显

式信念的语义定义则基于情景(situation),它与可能世界不同,在一个情景中,一个命题可以为真、或为假,或既真又假,或既不真又不为假,这种解释失去了直观性,使人们感到困惑,实质上类同于 Kripke 的非正规可能世界^[1]。

Agent 的意识属性是多样的,在理想情形有些可用正规模态算子来描述,例如“知道”;也有人认为在理想情形有些可以用正规模态算子来描述,例如“相信”,而另外一些则不应该用正规模态算子来描述,例如“目标”、“意图”等^[11,12,13]。我们认为用非正规模态算子来描述它们是一种主要的选择。Agent 的形式化工具应是组合了多个意识属性的逻辑框架,这多个意识属性应分别用正规和非正规模态算子来刻画,从而组成混合模态逻辑系统。这里的一个主要问题是寻求非正规模态算子的自然、合理的语义解释,最好是基于莱布尼茨式可能世界的,就像正规模态算子那样。为此,我们提出非正规模态算子的一种语义解释,它是基于标准的莱布尼茨式可能世界的,并且,在此解释下,正规模态算子可以看成是非正规模态算子的退化情形,从而把两种解释统一起来。

设 Lpm 为通常模态命题逻辑系统所用的语言。

定义 3 $F = \langle W, R^1, R^2, X \rangle$ 是一个框架,当且仅当其中 W 是任一非空集, R^1, R^2 是 $W \times W$ 的任意二个不相交的子集,且 $R^1 \neq \emptyset$, X 是 W 的任意非空子集。

定义 4 设 $F = \langle W, R^1, R^2, X \rangle$ 是任一框架, V 是框架 F 上对 Lpm-公式的一个 PM-赋值,当且仅当 $V: \text{Form}(Lpm) \times W \rightarrow \{1, 0\}$ 且对任意的 Lpm-公式 α, β , 和 $w \in W$, 满足:

$[Vp]$ 若 α 是命题变元,则 $V(\alpha, w) = 1$, 或 $V(\alpha, w) = 0$ 二者必居其一,且只居其一。

$[V\rightarrow] \quad V(\rightarrow\alpha, w) = \begin{cases} 1, & V(\alpha, w) = 0 \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$

$[V\rightarrow] \quad V(\alpha \rightarrow \beta, w) = \begin{cases} 1, & V(\alpha, w) = 0 \text{ 或 } V(\beta, w) = 1 \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$

$[V\Box] \quad V(\Box\alpha, w) = \begin{cases} 1, & \text{对任意 } w' \in W, \text{若 } R^1ww', \text{则 } V(\alpha, w') = 1, \\ & \text{且对任意 } w'' \in W, \text{若 } R^2ww'', \text{则 } V(\alpha, w'') = 0; \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$

根据以上定义和 $\wedge, \vee, \leftrightarrow, \Diamond$ 的语法定义,不难得到相应的赋值规则 $[V\wedge], [V\vee], [V\leftrightarrow]$ 和 $[V\Diamond]$ 。

定义 5 $M = \langle W, R^1, R^2, X, V \rangle$ 是一个模型,当且仅当 $F = \langle W, R^1, R^2, X \rangle$ 是一个框架, V 是 F 上的一个 PM-赋值。

定义 6 设 $M = \langle W, R^1, R^2, X, V \rangle$ 是任意模型, α 是任意 Lpm-公式,有:

(1) 对任意 $w \in W$, 若 $V(\alpha, w) = 1$, 记为 $M \models_w \alpha$, 称 α 在 w 上是真的; 若 $V(\alpha, w) = 0$ 记为 $M \not\models_w \alpha$, 称 α 在 w 上是假的。

(2) 若存在 $w \in X$, 使得 $M \models_w \alpha$, 则 α 在 M 上可满足。

(3) 若对任意 $w \in X$, 都有 $M \models_w \alpha$, 则称 α 在模型 M 上有效, 记作 $M \models \alpha$ 。

上述基于莱布尼茨式可能世界的语义解释, 当 $R^1 = \emptyset$ 且 $X = W$ 时, 退化为正规模态逻辑系统的莱布尼茨式的解释, 正规模态算子可看成是非正规模态算子, 当 $R^1 = \emptyset$, 且 $X = W$ 时的退化情形。可以证明:

定理 4 $R^1 = \emptyset$ 时, 规则 $N(\vdash \alpha \Rightarrow \vdash \Box\alpha)$ 对模型 $M = \langle W, R^1, R^2, X, V \rangle$ 无效。

从而不存在“逻辑全知”问题, 因此, 上述语义解释适用于解释非正规模态算子。

定理 5 公理 $K(\Box(p \rightarrow q) \rightarrow (\Box p \rightarrow \Box q))$ 对于模型 $M = \langle W, R^1, R^2, X, V \rangle$ 有效。

这正是 Agent 意识属性, 例如, 知道、相信、目标、意图等所需要的。至于该语义解释的详细讨论从略。

参 考 文 献

- 1 Wooldridge M J, Jennings N R. Intelligent Agents: Theory and Practice. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115~152
- 2 Bratman M. Intention, Plans and Practical Reason. Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1987
- 3 Doyle J. Rational control of reasoning in artificial intelligence. In: LNAI 465, Springer-Verlag, 1991
- 4 Cohen P R, et al. Intentions in Communication. MIT Press, 1990
- 5 Dennett D C. The Intentional Stance. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1987
- 6 Haddadi A. Reasoning about Cooperation in Agent Systems: A Pragmatic Theory. [Ph.D. Thesis]. University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) 1995
- 7 Shoham Y. Agent-Oriented Programming. AI, 1993, 60(1): 51~92
- 8 Singh M P. Multiagent Systems: A Theoretical Framework for Intention, Know-how, and Communication. Berlin: Springer-Verlag, 1994
- 9 Kiss G. Variable Coupling of Agents to their Environment: Combining Situated and Symbolic Automata. In: E. Werner and Y. Demazeau, eds. Decentralized Artificial Intelligence 3. Elsevier/Holland, Amsterdam, 1992, 231~248
- 10 Shoham Y, Cousins S B. Logic of Mental Attitude in AI. In: G. Lakemeyer, B. Nebel, eds. Foundations of Knowledge Representation and Reasoning, Springer-Verlag, 1994
- 11 Cohen P R, Levesque H J. Intention is Choice with Commitment. AI, 1990, 42
- 12 Rao A S, Georgeff M P. Modeling Rational Agents with-

粗糙集

解释

不精确理论

人工智能 ②

计算机科学 1999Vol 26No 12

5-8

各种不精确理论的 Rough 集解释^{*}

Interpretations of Various Uncertainty Theories Using Rough Sets

刘清

刘群

TP18

(南昌大学计算机科学与工程系 南昌 330029) (武汉水产学校计算机教研组 武汉 430070)

Abstract This paper summarizes the rough set theory that is used as a unifying framework for various uncertainty theories. Fuzzy sets, Dempster-Shafer theory, Modal Logic and Probability Logic are interpreted by lower, upper approximations and properties of Rough Sets. And the properties of these interpretations are also presented, it proposes a preliminary exploration directions for further studying the relations between rough set and various uncertainty theories.

Keywords Rough sets, Fuzzy sets, Dempster-Shafer theory of evidence, Modal logic, Probability logic

长期以来,含糊(Vagueness)概念一直是被哲学家和逻辑学家十分重视的研究内容,特别是近些年,它也成为 AI 领域中的热门课题。含糊概念的思想出自于谓词逻辑的创始人 G. Frege 的所谓边界线观点,他认为如果个体域上的一些元素既不能在某集合上被分类,也不能在该集合的补集上被分类,则把这些元素归结为边界线区域^[1]。Rough 集哲学原理是基于知识具有粒状结构的假设,而这种知识颗粒性(granularity)是由一些重要个体不可能是分明的或相似的或者说是相同的这样一个事实引入的^[2]。全体不分明个体的集合被称做基本集,并且形成关于全域上知识的基本颗粒。任意一些基本集的并集上所有元素都能看成是某集合的成员,则该集合是精确的集合,否则一个集合是 Rough 的。

因此每个 Rough 集都含有边界线区域上的个体,即这些个体不能借用其有效知识分类为这个集合或它的补集的成员。由 Z. Pawlak 提出的 Rough 集方法是假设任何含糊集都可用被称做这个集的下和上近似来精确地表示。下近似是由那些属于这个集合的所有个

体组成,上近似包含那些可能属于这个集合的所有个体,显然上近似和下近似之间的差就构成了含糊集的边界线区域^[3]。

Rough 集理论覆盖了其它各种不精确理论,例如, Fuzzy 集、证据理论、模态和概率逻辑等各种不精确理论都可在 Rough 集意义下通过 Rough 下和上近似及其性质给予解释,可见 Rough 集与其它各种近似理论一样都是针对不精确的 Frege 边界集问题而提出的处理含糊集问题的一种方法。Rough 集的意义优于其它各种理论之处在于它是经等价关系定义的,因此边界线区域中的含糊元素个数可以被计算出来,而其它各种不精确理论只能是靠统计得到。

1 Rough 集中的一些概念及其意义

设 U 是非空的个体全域, I 是 U 上的不分明关系。为简便起见称 I 为等价关系, $I(x)$ 是包含 x 的等价类, $X \subseteq U$ 是任意子集, X 关于 I 的下近似,记成:

$$I_*(X) = \{x \in U : I(x) \subseteq X\} \quad (1)$$

类似地 X 关于 I 的上近似,记成:

* 这项研究得到国家自然科学基金和江西省自然科学基金的资助。

- in a BDI-Architecture. In: Proc. of the 2nd Intl. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Morgan Kaufmanns, San Mateo, CA, 1991. 473~484
- 13 周北海. 模态逻辑导论. 北京: 北京大学出版社, 1997
- 14 Linder B, et al. Formalizing Motivational Attitudes of Agents. In: Intelligent Agents 1, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1995
- 15 Konolige K. A Deduction Model of Belief. Pitman/Morgan Kaufmanns, 1986

- 16 Levesque H J. A logic of Implicit and Explicit Belief. AAAI-84. The 4th, Austin, TX, 1984. 198~202
- 17 Kripke S A. Semantical analysis of modal logic 1. In: J W Addison, et al., eds The Theory of Models, North-Holland, Amsterdam, 1965. 206~220
- 18 Konolige K. Pollack M E. A Representational Theory of Intention. IJCAI-93, 1993. 390~395