

从逻辑系统到知识系统^{*}

李金厚 蒋静坪

(浙江大学电气学院 杭州310027)

摘 要 当前的模态或非模态逻辑系统的概念都是狭义的,它们关心的主要是一些重言式或永真式。而对人来说,事实真或假的知识同样是非常重要的,但这样的知识却超出了它们的定义范围。当它们(通常是模态逻辑系统)被用于意识系统研究时,这就不合适了。为此,本文提出了一种知识系统的观点,其中不仅包括了通常逻辑系统的内容,而且包括了事实真或假的知识等相关内容,从而解决了这一问题。

关键词 Agent,模态逻辑,逻辑系统,知识系统,意识表示,领域相关的

From Logical System to Knowledge System

LI Jin-Hou JIANG Jing-Ping

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract The various logical systems today, modal ones or none modal ones, care mostly the tautologies. On the other hand, the capability to give proper decisions shows to be one of the most important abilities of human being, which is usually given basing upon the true or false knowledge. However, an ordinary logical system doesn't care or define such kind of knowledge that it can hardly reflect such character of intentional system, even if it is a modal logical system. For this reason, a idea of constructing a sort of knowledge system is proposed in this paper, which includes true or false knowledge, and some other needed properties.

Keywords Agent, Modal logic, Logical system, Knowledge system, Mental representation, Domain related

1 引言

早期的人工智能研究带来了许多丰富而重要的成果,使人们对人类智能本质的认识有了很大提高。物理符合系统假设、将人脑比作信息处理系统、通用问题求解、专家系统、LISP 语言、知识表示及相关的意识表示等等,都是这一时期提出的重要概念或方法。不过直到今天,人工智能研究也远不如当初一些学者预期的那样乐观^[1]。

但这并没有影响人工智能研究成果的应用与发展。例如,在人类认知研究领域,传统的意识表示理论受到了诸如 perceptual symbol systems, situated action, embodied cognition 以及 dynamical system 等新思想或方法的挑战^[2],需要有所改进。当前,在相关的计算机及分布式人工智能等领域关于 agent 和多 agent 系统的研究也十分活跃,其中的意识属性或意识态度等概念无疑对传统人工智能研究形成了重要的补充。基于 Dennett 关于意识属性的观点^[3],一些学者认为将理性 agent 当作如人一样的意识系统来进行研究是合理和有利的^[4-6]。其研究最常用的形式化工具是模态逻辑(包括各种时态逻辑)和可能世界语义^[4],即将意识态度看成是一种模态。在语法方面,通过在公式中引入一些模态算子来构成相应的模态语言。在语义方面,用可能世界及其可达关系来解释信念、目标及意图等意识概念的含义。由于逻辑推理和人们思维的密切关系,将逻辑学研究成果应用于意识系统的意义是显然的。但需要指出的是,将意识系统简化为单纯的逻辑系统却是一种不合适的倾向。意识系统也是一种决策系统,它能够根据环境的变化或需要做出相应的决策。单从这一点上看,如文

中将要证明的,只关心形式真与假(这里的形式真假、事实真假或模态真假概念借用了文[7]中的表述方法)的逻辑系统就做不到。其中的问题并不复杂,只是被人们忽视了。这里的工作表明,建立包括逻辑系统在内的一个知识系统将有助于解决这一问题。

2 作为决策系统的意识系统

意识系统的决策特征是相当明显的。人们不断从变化的环境中提取所需的各种信息,以进行正确的判断与决策,进而采取适当的行为。这些决策过程是复杂的,但至少有一点是比较明确的,那就是它们一般不是盲目给出的,而是建立在人们对现实世界一定认识的基础之上。这些认识或知识是他们在与外部世界交互作用的过程中逐步积累起来的,它们通常又可以以某种语言形式来表达。例如,西红柿可以吃、酒精可以燃烧就是两条表达形式的知识。人们对这两条知识的应用情况是,西红柿被用来做菜而有些酒精被用作燃料。可见,人们进行决策所依据的通常是一些具有事实真或假的知识。知识真假的重要性在于,它们相当于知识的标签,标签不同,人们运用有关知识的方法也会有所不同。无需更多说明,事实假的知识对决策者来说显然也是重要的。

知识的概念在人工智能研究领域并不陌生。知识以及知识表示问题很早即为广大人工智能研究者所重视,而由“IF... THEN...”形式的知识组成的专家系统就一度对人工智能研究产生过非常重要的影响。相比较而言,逻辑系统里的命题或合式公式通常是更加符号化的,而且逻辑系统里关心的不是事实真或假的知识,而是形式真的重言式,这与人们对知识的

^{*} 本文研究得到国防科技跨行业基金项目资助,项目编号:OOJ16. 6. 3. JW040。

关心和依赖是有所不同的。

为了给出正确的决策,或者为了能基于一个更正确的角度来观察或了解世界,人们常常关心,有时甚至竭尽全力来寻求关于某些重要论断到底是真还是假的答案。例如,“太阳是我们所处星系的中心”与“地球是我们所处星系的中心”是两个相互排斥的论断,到底哪一个是真的有着不言而喻的重要性,而历史上也曾经围绕这一问题发生过激烈甚至残酷的论战。换句话说,如果以 p 表示“太阳是我们所处星系的中心”,以 q 表示“地球是我们所处星系的中心”,那么人们常常需要知道 p 真或 q 假这样的答案。但逻辑系统里关心的却是形如 $p \wedge q \leftrightarrow q \wedge p$ 这样的定理或重言式,并不关心 p 或 q 事实上的真或假。换句话说,这些定理是形式真的,因为这种真只与其表示形式有关,与其中的 p 或 q 具体代表什么命题以及它们的真、假没有关系。那么基于单纯逻辑系统,能推理出事实真假的结论吗?下面的定理给出了否定的回答。

定理1 根据命题逻辑系统中的定理并不能推断该定理中出现的任何一个命题变元的事实真或假。

证明:采用反证法。以 $F(p, q, r, \dots)$ 简单表示命题逻辑系统中的某个定理,其中的 p, q 或 r 等是定理中出现的命题变元并按其出现的顺序进行排列,但重复出现的不列入其中。从有关公式的命题序列中任取一个命题并设为 r ,这总是可行的,因为任何一个合式公式中必须包含一个命题,否则它是非法的,当然也就不可能是条定理。现在假定由该公式的永真性推得 r 为真,这一论断过程可表示为:

$F(p, q, r, \dots) \rightarrow r$	假定
$F(p, q, r, \dots)$	定理的性质
r	结论: r 为真

另一方面,根据假言易位律可以知道, $\neg r \rightarrow \neg F(p, q, r, \dots)$,这表示如果 r 不真或为假,那么 $F(p, q, r, \dots)$ 的逻辑值也将是假的,或者说如果将公式 $F(p, q, r, \dots)$ 出现符合 r 的位置全部代以假的逻辑值, $F(p, q, r, \dots)$ 的值也会是假的。但是根据条件 $F(p, q, r, \dots)$ 是永真的,与其中的命题代入什么样的逻辑值没有关系,矛盾。如果前面的假定改成从该定理可推得 r 为假,一样会导致矛盾。所以由命题逻辑系统中的定理不能断定定理中任何一个命题变元的真或假,证毕。

上面的定理告诉人们,形式真并不能代替或推出事实真或假。也就是说,从要推理出事实真假知识的角度看,这些逻辑系统是不封闭的。为了使这样的逻辑推理得以进行,就需要在系统中增加具有事实真假性质的知识,但这又超出了逻辑系统概念的范畴。另一方面,知识的概念是更广泛的,逻辑系统里的定理与公理实际上向人们提供了许多关于形式真的信息或知识,也是一种知识。换句话说,如果将它们纳入到一个知识系统中,那么这不仅不会引起概念上的困惑,而且上述逻辑推理过程也变得可以实施了。为论述方便,下面将贴有事实真假标签的符合下述条件的知识组成的集合简称为知识系统。

1) 该知识的表达符合通常的语法与语义上的要求。

2) 这些知识的表达中允许使用符号。这显然是合理的,因为文字本身也是一种符号,这样,合式公式的表达式允许出现在一条知识中。

3) 允许使用抽象概念。像命题、真假等就是抽象的概念,因为抽象概念的运用是人类复杂思维的一个非常重要的特点。

4) 允许使用“如果…那么…”这样的条件命题形式来表达

知识,因为这与专家系统里以“IF…THEN…”形式表示的知识可以验证是一致的。

应该说,上述知识系统只反映了人的知识系统的一些重要而基本的特征。在上述知识系统中引入两条规则,它们分别是代入规则和基于真假值的完全归纳规则。代入规则是指对一条合式公式表达的知识而言,允许使用代入的方法来计算逻辑值,并在此基础上验证一条定理的正确性。基于真假值的完全归纳规则是指在运用代入规则时,如果一个公式中命题变元所有可能出现的真假值情况已经穷尽,那么这表示就命题变元的真假值实施了完全归纳法。这种情况下,若该公式均表现出某种一致的结果,那么便可以断定该合式公式恒具有该结果,与代入命题的内容没有关系。例如,对合式公式 $p \vee \neg p$,分别将 p 代以真命题和假命题,该公式的逻辑值都是真的,又由于从真假意义来说这已经穷尽 p 所有可能的取值,因此运用基于真假值的完全归纳规则可知该合式公式恒成立。这两条规则基本就是从命题逻辑系统里来的,其意义是显然的。不过也有个概念上要注意的地方,仍是上面那个例子,代入过程可表示为: p_1 真,以 p_1 代入 p ,计算出 $p \vee \neg p$ 为真; p_2 假,以 p_2 代入 p ,计算出 $p \vee \neg p$ 仍为真。当 p_1 和 p_2 分别表示具体的命题形式时,它们一定不能是同一个命题,否则违反了矛盾律的要求。另外需要指出,一般来说命题逻辑系统中的合式公式是长度有限的由命题变元以及联结词等符号组成的符合要求的符号序列。

定理2 命题逻辑系统中的定理在上述的知识系统中都是可证的。

证明:任取命题逻辑系统中的一条定理,因为其中的命题变元只有有限多个,所以可以将该定理表示为 $F(p_1, p_2, \dots, p_n)$,其中, $p_1, p_2, \dots, p_n$ 表示该定理中出现的各个不同的命题变元。设该知识系统是非空的,至少包括两条不同的真命题与假命题,而这是容易做到的。不妨以 α 表示其中的一条真命题,以 β 表示其中的一条假命题。运用代入规则,逐步构造出表1。

表1

	p_1	p_2	$\dots$	p_n	$F(p_1, p_2, \dots, p_n)$
代入命题	α	α	α	α	真
代入命题	β	α	α	α	真
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
代入命题	β	β	β	β	真

表中的每一条知识是这样得到的,那就是将 $p_1, p_2, \dots, p_n$ 分别代以知识系统有明确真假值的命题,只要不出现上面提到的矛盾代入即可,而这是可以做到的。然后经过计算得到 $F(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 的值。计算出的表的最后一列必然都是真值,否则与 $F(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 是一条定理的前提相矛盾。这样,我们通过计算在该知识系统中构造出了下面形式的一条条的条件命题形式给出的知识。

如果 p_1 为 α , 且 p_2 为 $\alpha, \dots$, 且 p_n 为 α , 那么 $F(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 真;

如果 p_1 为 β , 且 p_2 为 $\alpha, \dots$, 且 p_n 为 α , 那么 $F(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 真;

$\dots \dots \dots$

如果 p_1 为 β , 且 p_2 为 $\beta, \dots$, 且 p_n 为 β , 那么 $F(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 真。

依次经过 2^n 次的代入计算,便可以穷尽 $p_1, p_2, \dots, p_n$ 所

有可能的真假取值。最后再利用基于真假值的完全归纳法可知, $F(p_1, p_2, \dots, p_n)$ 是永真式, 与 $p_1, p_2, \dots, p_n$ 分别代以什么样的具体命题没有关系, 从而证明了这是一条定理。由于该定理是从命题逻辑系统中任意取出的, 因此这说明命题逻辑系统中的任意一条定理在上述的知识系统中都是可证的。证毕。

上述定理1和2的证明并不涉及语义问题, 所以得出的结论不难直接应用到模态逻辑系统中。这些结论显示, 将逻辑系统中的定理置于一个知识系统的框架之下是合适和有意义的。

3 知识系统的构建

逻辑系统里期望通过有效的推理来得到多的重言式, 并且期望它们是一致的和完全的。这只能作为上述知识系统的一个目的, 它的另一个目的是要通过有效的逻辑推理来获得各种期望的结论, 从而作为决策或其他推理工作的前提。这里将通过对普通逻辑系统进行适当的改造来得到所需的知识系统。这些改造工作主要包括: 第一, 增加明确了事实真假知识组成的知识集以作为未来逻辑推理的前提, 而这些具体知识的符号序列可以通过适当的文法来产生。第二, 其中允许使用形如“如果…那么…”的知识, 并且它们是和逻辑系统中的定理一样看待的, 因为许多定理也是以这种方式表述的。第三, 增加对知识真假判定的求值与赋值函数。这样, 一条知识取出时可以求出其真假值, 而存入时可以贴上真假标签。最后, 还要建立来源、目的不同的知识输入与输出动作, 因为现在的系统中有的不止是形式知识。

下面的知识系统是由极小模态逻辑系统 K 扩充后得到的 K_K 。而且为了便于比较两者的异同, 它是与原来的逻辑系统一起给出的。

极小模态逻辑系统 K :

1. 初始符号
 - (1) 命题变元: $p, q, r, s, \dots$;
 - (2) 真值联结词: $\neg, \vee$;
 - (3) 括号: $(,)$;
 - (4) 模态算子: $\Box$;
2. 形成规则
 - (1) 单个命题变元是合式公式;
 - (2) 若 p 是合式公式, $\neg p$ 则是合式公式;
 - (3) 若 p 和 q 是合式公式, 则 $p \vee q$ 是合式公式;
 - (4) 有限地应用上述(1)至(3)所得出的包含命题变元、真值联结词和括号的符号序列也是合式公式;
 - (5) 若 p 是合适公式, 则 $\Box p$ 和 $\Diamond p$ 都是合适公式;
 - (6) 若 p 和 q 是合式公式, 则 $p \leftrightarrow q$ 和 $p = q$ 都是合式公式;

3. 形变规则
 - (1) 代入规则;
 - (2) 分离规则;
 - (3) 定义置换规则;
 - (4) 必然规则: $R\Box$: 如果 $\vdash A$, 那么 $\vdash \Box A$ 。

4. 定义
 - (1) $p \rightarrow q = df \neg p \vee q$
 - (2) $p \wedge q = df \neg(\neg p \vee \neg q)$
 - (3) $p \leftrightarrow q = df (p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$
 - (4) $\Diamond p = df \neg \Box \neg p$
 - (5) $p \leftrightarrow q = df \Box(p \rightarrow q)$
 - (6) $p = q = df (p \leftrightarrow q) \wedge (q \leftrightarrow p)$
5. 初始公理
 - (1) $p \vee \neg p$
 - (2) $p \rightarrow p \vee q$
 - (3) $p \vee q \rightarrow q \vee p$
 - (4) $(q \rightarrow r) \rightarrow (p \vee q \rightarrow p \vee r)$
 - (5) $K\Box(p \rightarrow q) \rightarrow (\Box p \rightarrow \Box q)$
6. 已推得定理集(略)

知识系统 K_K :

1. 初始符号
 - (1) 命题变元: $p, q, r, s, \dots$;
 - (2) 真值联结词: $\neg, \vee$;
 - (3) 括号: $(,)$;
 - (4) 模态算子: $\Box$;
 - (5) 非终结符号的有限 V_N 集合, 终结符号的有限集合 V_T 。
2. 形成规则

- (1) 单个命题变元是合式公式;
- (2) 若 p 是合式公式, $\neg p$ 则是合式公式;
- (3) 若 p 和 q 是合式公式, 则 $p \vee q$ 是合式公式;
- (4) 有限地应用上述(1)至(3)所得出的包含命题变元、真值联结词和括号的符号序列也是合式公式;
- (5) 若 p 是合适公式, 则 $\Box p$ 和 $\Diamond p$ 都是合适公式;
- (6) 若 p 和 q 是合式公式, 则 $p \leftrightarrow q$ 和 $p = q$ 都是合式公式;
- (7) 利用某个合适文法 $G_K = (V_N, V_T, S, P)$ 来产生一条语言形式的知识。

3. 形变规则
 - (1) 代入规则;
 - (2) 分离规则;
 - (3) 定义置换规则;
 - (4) 必然规则: $R\Box$: 如果 $\vdash A$, 那么 $\vdash \Box A$ 。
- * 4. 新增加的一些运算
 - (1) 检验运算;
 - (2) 取值运算;
 - (3) 赋值运算;
 - (4) 从事实知识集中输入(取出)知识的运算;
 - (5) 输出(送入)知识到事实知识集中;
 - (6) 定理选择。

5. 定义

(1) $p \rightarrow q = df \neg p \vee q$	Def $\rightarrow$
(2) $p \wedge q = df \neg(\neg p \vee \neg q)$	Def $\wedge$
(3) $p \leftrightarrow q = df (p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$	Def $\leftrightarrow$
(4) $\Diamond p = df \neg \Box \neg p$	Def $\Diamond$
(5) $p \leftrightarrow q = df \Box(p \rightarrow q)$	Def $\leftrightarrow$
(6) $p = q = df (p \leftrightarrow q) \wedge (q \leftrightarrow p)$	Def $=$

6. 初始公理
 - (1) $p \vee \neg p$
 - (2) $p \rightarrow p \vee q$
 - (3) $p \vee q \rightarrow q \vee p$
 - (4) $(q \rightarrow r) \rightarrow (p \vee q \rightarrow p \vee r)$
 - (5) $K\Box(p \rightarrow q) \rightarrow (\Box p \rightarrow \Box q)$

7. 形式知识集(略)
- * 8. 事实知识集(略)

注:
1) 加“*”号的为新增加的;
2) 一些新增部分在前面已作了大致的说明。因为它们并不难理解, 所以这里省略了进一步说明。

结论 由于模态的或非模态的理论逻辑系统至少难以反映意识系统的决策特征, 因此将意识系统简化为单纯的逻辑系统来研究是不合适的。为了能进行如人一样的一些决策过程, 在相应的意识系统中需要定义或包括具有事实真假值的各种知识, 而这正是现有的理论逻辑系统所没有做到的。由于包括事实真假的知識超出了逻辑系统关心的范畴, 因此这里将它们定义为知识系统, 它们通常可以通过对现有的逻辑系统进行扩充而得到。知识系统的概念更加广泛, 更适合反映意识系统的决策特征。不过需要注意, 这种方法是领域相关的, 也就是说只有在将逻辑系统方法应用于意识系统研究时, 这样做才有意义。

参考文献

- 1 Bobrow D G, Brady J M. Artificial Intelligence 40 years later. Artificial Intelligence, 1998, 103: 1~4
- 2 Markman A B, Dietrich E. Extending the classical view of representation. Trends in Cognitive Sciences, 2000, 4(12): 470~475
- 3 Dennett D. The Intentional Stance. Cambridge, MA: Bradford Books/MIT Press, 1987
- 4 Bradshaw W. An introduction to software agents. In: Bradshaw M. ed. Software Agents, Menlo Park, CA: AAAI Press, 1997
- 5 Singh M P. Multiagent Systems: a Theoretical Framework for Intention, Know-How, and Communication. Berlin: Springer-Verlag, 1994
- 6 Wooldridge M J, Jennings N R. Intelligent Agents: Theory and Practice. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115~152
- 7 郑文辉, 梁庆寅, 吴志雄等编著. 逻辑导论. 广州: 中山大学出版社出版, 1996