



Artificial Intelligence (AI)

人工智能

非经典推理

主讲：王晓丽

Email: wangxiaoli@mail.xidian.edu.cn

西安电子科技大学

内容提要

非经典推理



1. 经典推理和非经典推理



2. 可信度方法



3. 概率推理





经典逻辑推理

例：设A, B, C三人中有人从不说真话，也有人从不说假话。

某人向这三个人分别提出同一个问题：谁是说谎者？

A答：“B和C都是说谎者”；

B答：“A和C都是说谎者”；

C答：“A和B中至少有一个是说谎者”。

求谁是说真话的人？



经典逻辑推理

设用 $T(x)$ 表示 x 说真话。

$$T(C) \vee T(A) \vee T(B)$$

$$\neg T(C) \vee \neg T(A) \vee \neg T(B)$$

$$T(A) \rightarrow \neg T(B) \wedge \neg T(C)$$

$$\neg T(A) \rightarrow T(B) \vee T(C)$$

$$T(B) \rightarrow \neg T(A) \wedge \neg T(C)$$

$$\neg T(B) \rightarrow T(A) \vee T(C)$$

$$T(C) \rightarrow \neg T(A) \vee \neg T(B)$$

$$\neg T(C) \rightarrow T(A) \wedge T(B)$$

把上述公式化成子句集，并加入 $\neg T(x) \vee \text{Answer}(x)$:

$$(1) \neg T(A) \vee \neg T(B)$$

$$(2) \neg T(A) \vee \neg T(C)$$

$$(3) T(C) \vee T(A) \vee T(B)$$

$$(4) \neg T(B) \vee \neg T(C)$$

$$(5) \neg T(C) \vee \neg T(A) \vee \neg T(B)$$

$$(6) T(A) \vee T(C)$$

$$(7) T(B) \vee T(C)$$

$$(8) \neg T(x) \vee \text{Answer}(x)$$

应用消解原理得:

$$(9) \neg T(A) \vee T(C)$$

$$(10) T(C)$$

$$(11) \text{Answer}(C)$$

所以 C 是说真话的人。

(1)和(7)消解

(6)和(9)消解

(8)和(10)消解



经典推理和非经典推理

❖ 经典逻辑推理

- ✓ 建立在以形式逻辑和数理逻辑为主的经典逻辑基础上，运用确定性知识进行推理，是一种**单调性**的推理。
- ✓ 经典逻辑是单调的，即**已知事实均为充分可信的**，不会**随着新事实的出现而使原有事实变为假**。
- ✓ 现实世界中的大多数问题存在**随机性、模糊性、不完全性和不精确性**。对于这些问题，若采用前面所讨论的精确性推理方法显然是无法解决的。
- ✓ 为此，出现了一些新的逻辑学派，称为**非经典逻辑**，相应的推理方法称为**非经典推理**。
- ✓ 非经典逻辑是非单调的。

内容提要

非经典推理



1. 经典推理和非经典推理



2. 可信度方法



3. 概率推理





可信度方法

- ❖ **可信度**：是指人们根据以往经验对某个事物或现象为真的相信程度。
- ❖ 在可信度方法中，由专家给出规则或知识的可信度，从而**避免对先验概率、条件概率的要求**。
- ❖ 由于该方法直观、简单而且效果好，在专家系统等领域获得了较为广泛的应用。



知识的不确定性表示

- ❖ **C-F模型**: 基于可信度表示的不确定性推理的基本方法, 其他可信度方法都是基于此发展而来。
- ❖ **知识的不确定性表示**: 在C-F模型中, 知识是用产生式规则表示的, 其一般形式为:

IF E THEN H (CF(H, E))

- ✓ **E**: 知识的前提条件, 可以是单一或复合条件
- ✓ **H**: 知识的结论, 可以是单一结论或多个结论
- ✓ **CF(H, E)**: 知识(规则)的可信度, 称为可信度因子或规则强度。



知识的不确定性表示

- ✓ 一般情况下， $CF(H, E)$ 的取值为 $[-1, 1]$ ，表示当证据E为真时，对结论H的支持程度。其值越大，表示支持程度越大。
 - $CF(H, E) > 0$ ，表示该证据增加了结论为真的程度，且 $CF(H, E)$ 值越大，结论H越真。对应于 $P(H|E) > P(H)$;
 - $CF(H, E) = 1$ ，表示该证据使结论为真;
 - $CF(H, E) < 0$ ，表示该证据增加了结论为假的程度，且 $CF(H, E)$ 值越小，结论H越假。对应于 $P(H|E) < P(H)$;
 - $CF(H, E) = -1$ ，表示该证据使结论为假;
 - $CF(H, E) = 0$ ，表示该证据跟结论没有关系，对应于 $P(H|E) = P(H)$ 。



知识的不确定性表示

✓ 例子:

IF 发烧 AND 流鼻涕 THEN 感冒 (0.7)

□表示当某人确实有“发烧”及“流鼻涕”症状时，则有七成的把握是患了感冒。

✓ 在实际应用中， $CF(H, E)$ 的值由领域专家直接给出。原则:

□ 若由于相应证据的出现增加了结论H的可信度，则使 $CF(H, E) > 0$ 。证据的出现越是支持H为真，就使 $CF(H, E)$ 的值越大。

□ 反之，则使 $CF(H, E) < 0$ 。证据的出现越是支持H为假，就使 $CF(H, E)$ 的值越小。

□ 若证据的出现与H无关，则使 $CF(H, E) = 0$ 。



证据不确定性的表示

❖ 证据不确定性的表示

- ✓ 证据的E不确定性用证据的可信度 $CF(E)$ 表示
- ✓ 初始证据的可信度由用户在系统运行时提供，中间结果的可信度由不精确推理算法求得。
- ✓ $CF(E)$ 的取值范围： $[-1, +1]$ 。
 - $CF(E)=1$ ，证据E肯定为真
 - $CF(E)=-1$ ，证据E肯定为假
 - $CF(E)=0$ ，对证据E一无所知
 - $0 < CF(E) < 1$ ，证据E以 $CF(E)$ 程度为真
 - $-1 < CF(E) < 0$ ，证据E以 $CF(E)$ 程度为假



组合证据的不确定性

❖ 组合证据的不确定性计算：可采用最大最小法

✓ 当组合证据 $E=E_1 \text{ AND } E_2 \dots \text{AND } E_n$ 时，若已知 $CF(E_1), \dots, CF(E_n)$ ，则：

$$CF(E)=\min\{CF(E_1), CF(E_2), \dots, CF(E_n)\}$$

✓ 当组合证据 $E=E_1 \text{ OR } E_2 \dots \text{OR } E_n$ 时，若已知 $CF(E_1), \dots, CF(E_n)$ ，则：

$$CF(E)=\max\{CF(E_1), CF(E_2), \dots, CF(E_n)\}$$



结论的不确定性

❖ 根据证据和规则的可信度求结论的可信度

IF E THEN H (CF(H, E))

❖ 结论H的可信度由下式计算:

$$CF(H) = CF(H, E) \times \max\{0, CF(E)\}$$

- ✓ 当 $CF(E) > 0$ ，即证据以某种程度为真时， $CF(H) = CF(H, E) * CF(E)$ 。
- ✓ 当 $CF(E) = 1$ ，即证据为真时， $CF(H) = CF(H, E)$ ，说明证据E为真时，结论H的可信度为规则的可信度。
- ✓ 当 $CF(E) < 0$ ，即证据以某种程度为假，规则不能使用， $CF(H) = 0$ 。



结论不确定性的合成

❖ 结论不确定性的合成

- ✓ 若由多条不同知识推出了相同的结论，但可信度不同，则用合成算法求出综合可信度。设有知识：

IF E_1 THEN H ($CF(H, E_1)$)

IF E_2 THEN H ($CF(H, E_2)$)

- ✓ 则结论 H 的综合可信度可分以下两步计算：
- ✓ (1) 分别对每条知识求出其 $CF(H)$ 。即

$$CF_1(H) = CF(H, E_1) \times \max\{0, CF(E_1)\}$$

$$CF_2(H) = CF(H, E_2) \times \max\{0, CF(E_2)\}$$



结论不确定性的合成

❖ 结论不确定性的合成

✓ (2) 用如下公式求 E_1 与 E_2 对 H 的综合可信度

$$CF(H) = \begin{cases} CF_1(H) + CF_2(H) - CF_1(H) \times CF_2(H) & \text{若 } CF_1(H) \geq 0 \\ & \text{且 } CF_2(H) \geq 0 \\ CF_1(H) + CF_2(H) + CF_1(H) \times CF_2(H) & \text{若 } CF_1(H) < 0 \\ & \text{且 } CF_2(H) < 0 \\ \frac{CF_1(H) + CF_2(H)}{1 - \min\{|CF_1(H)|, |CF_2(H)|\}} & \text{若 } CF_1(H) \text{ 与 } CF_2(H) \text{ 异号} \end{cases}$$



结论不确定性的合成

❖ 结论不确定性的合成

✓ 若有两个以上的独立证据时：

IF E_1 THEN H (CF(H, E_1)))

IF E_2 THEN H (CF(H, E_2)))

IF E_3 THEN H (CF(H, E_3)))

✓ 可首先组合其中的两个，再将其组合结果与第三个证据进行组合，如此继续进行组合，直至组合完成为止。



可信度方法

❖ 例：设有如下一组知识：

✓ r_1 : IF E_1 THEN H (0.9)

✓ r_2 : IF E_2 THEN H (0.6)

✓ r_3 : IF E_3 THEN H (-0.5)

✓ r_4 : IF E_4 AND (E_5 OR E_6) THEN E_1 (0.8)

✓ 已知: $CF(E_2)=0.8$, $CF(E_3)=0.6$, $CF(E_4)=0.5$, $CF(E_5)=0.6$, $CF(E_6)=0.8$

✓ 求: $CF(H)=?$

$$CF(H) = \begin{cases} CF_1(H) + CF_2(H) - CF_1(H) \times CF_2(H) & \text{若 } CF_1(H) \geq 0 \\ & \text{且 } CF_2(H) \geq 0 \\ CF_1(H) + CF_2(H) + CF_1(H) \times CF_2(H) & \text{若 } CF_1(H) < 0 \\ & \text{且 } CF_2(H) < 0 \\ \frac{CF_1(H) + CF_2(H)}{1 - \min\{|CF_1(H)|, |CF_2(H)|\}} & \text{若 } CF_1(H) \text{ 与 } \\ & CF_2(H) \text{ 异号} \end{cases}$$



可信度方法

✓ 解：由 r_4 得到：

$$\begin{aligned} CF(E_1) &= 0.8 \times \max\{0, CF(E_4 \text{ AND } (E_5 \text{ OR } E_6))\} \\ &= 0.8 \times \max\{0, \min\{CF(E_4), CF(E_5 \text{ OR } E_6)\}\} \\ &= 0.8 \times \max\{0, \min\{CF(E_4), \max\{CF(E_5), CF(E_6)\}\}\} \\ &= 0.8 \times \max\{0, \min\{CF(E_4), \max\{0.6, 0.8\}\}\} \\ &= 0.8 \times \max\{0, \min\{0.5, 0.8\}\} \\ &= 0.8 \times \max\{0, 0.5\} \\ &= 0.4 \end{aligned}$$

由 r_1 得到：

$$\begin{aligned} CF_1(H) &= CF(H, E_1) \times \max\{0, CF(E_1)\} \\ &= 0.9 \times \max\{0, 0.4\} = 0.36 \end{aligned}$$



可信度方法

由 r_2 得到:

$$\begin{aligned} CF_2(H) &= CF(H, E_2) \times \max\{0, CF(E_2)\} \\ &= 0.6 \times \max\{0, 0.8\} \\ &= 0.48 \end{aligned}$$

由 r_3 得到:

$$\begin{aligned} CF_3(H) &= CF(H, E_3) \times \max\{0, CF(E_3)\} \\ &= -0.5 \times \max\{0, 0.6\} \\ &= -0.3 \end{aligned}$$

根据结论不精确性的合成算法, $CF_1(H)$ 和 $CF_2(H)$ 同号, 且都大于零有:

$$\begin{aligned} CF_{1,2}(H) &= CF_1(H) + CF_2(H) - CF_1(H) \times CF_2(H) \\ &= 0.36 + 0.48 - 0.36 \times 0.48 \\ &= 0.84 - 0.17 = 0.67 \end{aligned}$$



可信度方法

$CF_{12}(H)$ 和 $CF_3(H)$ 异号，有：

$$\begin{aligned} CF_{1,2,3}(H) &= \frac{CF_{1,2}(H) + CF_3(H)}{1 - \min \{|CF_{1,2}(H)|, |CF_3(H)|\}} \\ &= \frac{0.67 - 0.3}{1 - \min \{0.67, 0.3\}} = \frac{0.37}{0.7} \\ &= 0.53 \end{aligned}$$

✓综合可信度为 $CF(H)=0.53$



R1: IF E1 THEN H (0.8)

R2: IF E2 THEN H (0.6)

R3: IF E3 THEN H (-0.5)

R4: IF E4 AND (E5 OR E6) THEN E1 (0.7)

R5: IF E7 AND E8 THEN E3 (0.9)

已知：CF(E2)=0.8, CF(E4)=0.5, CF(E5)=0.6, CF(E6)=0.7, CF(E7)=0.6, CF(E8)=0.9

求：CF(H)=? (10分)

(提示) 结论不确定性合成的计算公式可以用下列公式：

$$CF(H) = \begin{cases} CF_1(H) + CF_2(H) - CF_1(H) \times CF_2(H) & \text{若 } CF_1(H) \geq 0 \\ & \text{且 } CF_2(H) \geq 0 \\ CF_1(H) + CF_2(H) + CF_1(H) \times CF_2(H) & \text{若 } CF_1(H) < 0 \\ & \text{且 } CF_2(H) < 0 \\ \frac{CF_1(H) + CF_2(H)}{1 - \min\{|CF_1(H)|, |CF_2(H)|\}} & \text{若 } CF_1(H) \text{ 与 } CF_2(H) \text{ 异号} \end{cases}$$

西安电子科技大学



可信度方法的特点

优点：

- ❖ 简单、直观。

缺点：

- ❖ 可信度因子依赖于专家主观指定，没有统一、客观的尺度，容易产生片面性。
- ❖ 随着推理延伸，可信度越来越不可靠，误差越来越大。当推理深度达到一定深度时，有可能出现推出的结论不再可信的情况。