

Chance Discovery 研究综述^{*}

诸世卓 陈小平

(中国科学技术大学计算机科学技术系 合肥 230027)

摘要 Chance Discovery 是国际上新兴的一个研究领域。本文着重从人工智能的角度,分析 Chance Discovery 的背景和研究现状,并具体介绍几项主要的研究成果,包括 Chance 的特性和理论抽象、Chance Discovery 的技术手段和 Chance Discovery 的若干应用。

关键词 Chance, Chance Discovery, 溯因类比推理, 动态概率逻辑, L_{mc}

Research on Chance Discovery: A Survey

ZHU Shi-Zhuo CHEN Xiao-Ping

(Dept. of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

Abstract Chance Discovery is a novel research field rising in recent years. This paper, from the perspective of artificial intelligence, analyzes the background in which Chance Discovery is proposed, reviews the status of the international research of Chance Discovery and introduces some main research productions, including the features and the theoretical abstraction of Chance, the technological measures for Chance Discovery, and the applications of Chance Discovery.

Keywords Chance, Chance discovery, Abductive analogical reasoning, Dynamic probabilistic logics, L_{mc}

1 引言

对于任何个人或团体而言,决策的重要性是不言而喻的。在过去的半个多世纪里,经济学、心理学、控制论和人工智能等学科从不同角度对决策进行了长期、深入的研究,不仅取得了一系列重要成果,而且获得了对决策问题更深刻的理解。其中最重要的进展之一是,决策研究的理论假定与决策任务的实际需求之间的差距不断缩小。

在这种背景下,日本学者 Yukio Ohsawa 在 2000 年前后提出了 Chance Discovery 的概念和研究方向。其主旨是:在动态不可预测的环境中,发现对主体决策具有重要影响的事件或状态。对于那些有利于主体的事件或状态,应该加以利用;对于那些不利于主体的事件或状态,则应该加以避免^[1]。

Chance Discovery 的概念为决策问题的研究,特别是当前人工智能的主攻方向——agent 在动态不可预测环境中的决策,提供了一种新的思路。一经提出,立刻吸引了人工智能、心理学、经济学、教育学、控制论和系统论等领域研究者的注意,先后召开了多次国际研讨会,其中包括:

2000 年 8 月,Chance Discovery 和 Management 专题学术讨论会与第四届国际基于知识的智能工程系统和相关技术会议(Forth International Conference on Knowledge-based Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies)联合在英国布赖顿举行;

2001 年 5 月,第一届 Chance Discovery 国际专题学术讨论会(The First International Workshop on Chance Discovery)作为日本人工智能协会第 15 届年会的一部分在日本松江召开;

2002 年 8 月,第二届 Chance Discovery 国际专题学术讨

论会(The Second International Workshop on Chance Discovery)在日本东京召开,我国学者第一次参加了国际 CD&CM 学术会议并报告了自己的研究成果^[2];

2002 年 11 月 15 日~17 日,AAAI 秋季 Chance Discovery 研讨会在美国 Falmouth 举行;

2003 年 6 月,Chance Discovery and Its Management 专题学术讨论会将与第 10 届人机交互国际会议在希腊克利特岛联合召开。

如此密集的国际学术交流表明,Chance Discovery 正日益受到人们的重视,正在成为一个重要的研究领域。本文将概要讨论 Chance Discovery 的历史、现状和若干重要进展。

2 Chance 的特性及其理论抽象

如前所述,CD 的研究吸引了来自人工智能、心理学、经济学、系统论和控制论等各个领域的研究者,因此,对 Chance 的特性的理解也有各种不同的角度。

2.1 Chance Discovery 的一般表述

Y. Ohsawa^[1]对 Chance 的概念作了初步的描述:“Chance”是对人的决策制定过程具有重要影响的事件或状态,这样的事件或状态可以被认为是 Opportunity 或 Risk。Chance Discovery 是对 Chance 的重要性产生认识或者解释,特别是在 Chance 很少出现并且它的重要性没有被注意到的时候。Opportunity 的效果应该积极加以促进,而对于被发现的 Risk,则应该采取相应的措施加以阻止。换句话说,Chance Discovery 的目标是为将来的创新和存活提供手段,而不仅仅是预测将来。

Chance 的本质特性是它能导致将来的新的或重要的变化。新的 Opportunity 的发现可能比仅仅依赖于过去的成功

^{*} 本文得到国家自然科学基金(60275024)和 863 计划(2001AA422200)的支持。诸世卓 硕士研究生,从事人工智能,多主体系统研究;陈小平 教授,博士生导师,从事人工智能,多主体系统研究。

模式更为有益,因为它还没有被自己或商业竞争对手认识到。用来避免或减少破坏的新的 Risk 的发现可能也是独立的,因为它不能由过去的破坏模式来解释。因此,从数据中意识到这个新奇重要的事件,而不是忽略为噪音对于将来的成功是至关重要的。除了从事件序列中用数据挖掘的方法来发现这些稀少但是重要的事件之外,它的重要性还在于把人的注意力集中到这样一些事件中来,从而使得人们为抓住和管理 Chance 做好准备。在这种情况下,人-信息的交互与 Chance Discovery 高度相关。而且,Chance Discovery 可以看作风险管理到计算机辅助问题求解的扩充,其中包括了新的情形。

Ohsawa 给出了几个例子以利于直观上理解 Chance:

例 1 伦敦的第一把雨伞

当伦敦街头出现第一把雨伞的时候,人们觉得奇怪,但是没有人想到这会在将来成为一种时尚。这种预测的困难性在于:在第一把雨伞出现之前没有关于雨伞销售的时间序列。但是,这仍然不失为一个 Chance,因为比如通过广告的方式,可以促使雨伞成为人们日常生活必需品。

在这个例子中,其实存在一个潜在动机,即要避免淋雨同时使得雨伞成为一种时尚。那么,在没有过去的销售模式可以利用的情况下,如何找到这个潜在动机与这个新事物之间的关联呢?这正是 Chance Discovery 期望解决的。

例 2 大地震的征兆

20 世纪 80 年代,日本的神户和大阪发生了一系列的小地震,人们不知道这意味着什么。但是由于神户的地壳所承受的巨大压力,1995 年,在神户发生了一次更大的地震(M7.2),使 6600 人成为受害者。如果人们能够认识到过去的小震与大震的联系,这样的灾害就可能被避免和减小。

在这个案例中,存在一个潜在的原因。在没有历史数据可以利用的情况下,如何发现该潜在原因与未来灾害之间的关系?

在上面两种情况下,一个关键的问题是,不能把某些事件看作噪声,而应该分析这些事件对未来决策的重要性。这又与潜在动机有关,比如人类思维和愿望。潜在动机与新的事件之间关系的判断,与 Chance Discovery/Management 有非常紧密的联系。

2.2 系统论和控制论角度

Helmut Prendinger 和 Mitsuru Ishizuka 在文[3]中首次从系统论和控制论的角度分析了 Chance 的性质。

首先,他们区分了两类系统:自然系统和开放系统。自然系统是由自然规律支配的系统,而开放系统主要由系统论和控制论刻画。开放系统可以由下面两个系统论特征(S1 和 S2)和控制论特征(C1 和 C2)描述:

S1:开放系统是一个置于比其自身更大的环境中的物理整体。系统和环境之间发生着连续的能量交换。环境可以满足系统的需要,也可以毁灭系统。

S2:开放系统在一定时间内保持相对稳定,这种状态称为耗散状态。

C1:一定时间内的稳定状态称为理想状态(或规范状态),给定实际状态,理想状态是系统试图趋近的状态。

C2:规则机制弥补了环境的扰动影响,即规则机制持续地反作用于使得系统偏离理想状态的影响。如果这种外在的影响超过了可控的范围,系统就被毁灭。

其次,他们指出了解释和预测的区别。假定一个理论能够“解释”一个特殊的现象何以成为 Chance (Opportunity 或 Risk),同时观测到它的重大的影响(正的或负的)。那么给定一个类似的现象,在类似的环境下,我们能用这个理论去“预

测”这种重大的影响吗?他们指出,并不是所有情况下,解释性结论都能用于预测目的。而 Chance Discovery 一般强调的是预测,这就需要提供其他的机制来进行 Chance Discovery。

然后,他们针对开放系统提出了 Chance Discovery 的概念。他们指出,上述开放系统下的规则机制是有局限性的,因为规则机制总是在系统受到威胁的时候作为对环境扰动的弥补手段。因此为了进行 Chance Discovery,有必要引进新的“预期机制”(Anticipation Mechanism)来处理环境的影响。与预测不同,“预期”更加倾向于发现和创造可能的期望特征,并且实现他们。例如在经济领域,当民众普遍相信并且预期经济将会越来越好的时候,就有可能促使经济真的变得越来越好。

2.3 心理学和认知论角度

Ruediger Oehlmann 在文[4]中从心理学的角度对 Chance Discovery 作了描述。他通过实验证明了显式意识(explicit awareness)与隐式记忆(implicit memory)之间的关系。为了利用 Chance,首先必须意识到给定的事件是 Chance。在类比推理中,类比项之间存在一定的“提示”(hint)关系时,才可能从以前的事件中发现新的事件是否是 Chance。作者认为这种提示对于产生对 Chance 的意识是一个过强的要求。

Ruediger Oehlmann 设计了两个实验。在实验 1 中,被试者分成两个小组,其中一组允许从不同的角度观测一个钟表的工作原理,另一组只能从一个特定角度进行观察。要求所有被试者建立 FoK(feeling of knowing)判断(相当于显式提示)。第一组被试者相对于第二组而言有更多的人发现了钟表的工作原理。在实验 2 中,被试者仍分成两个小组,与实验 1 不同的是,现在不要求被试者建立 FoK。实验结果显示,第一组被试者仍比第二组被试者有更多的人发现了钟表的工作原理,从而揭示了即使在无显式意识(即实验 1 中要求被试者建立 FoK 判断的过程)的情况下,隐式记忆仍然能协助新的 Chance 被发现。

Lorenzo Magnani, Matteo Piazza 和 Riccardo Dossena 在文[5]中从溯因推理(abduction)的角度论述了 Chance Discovery 的“认知”过程,即在行为过程中,主体的内部认知状态处在不断的变化之中。作者认为,溯因推理可以分为两类,一类是选择性的(selective),一类是创新性的(creative)。前者是从预先存储好的选项中选出合适的选项,后者是从未知的领域中生成新的选项。前者如医生的日常诊断,后者如科学发现。显然,后者体现了 Chance Discovery 的特性。作者同时强调了一种特殊的发现类型:实践中发现(discovering through doing),这种过程强调了行动在机会发现过程中的重要性,作者称之为操控式溯因(manipulative abduction),即通过行为改变环境从而改变主体本身的认知状态。

2.4 人工智能和多主体系统角度

季澄宇和陈小平从 BDI 的角度对 Chance Discovery 作了阐述^[2]。作者认为 Chance 有三个本质属性:知识不完备性、动机相关性和能动开放性。同时,作者把 Chance Discovery 与 IRMA 模型相结合,提出了带 CD 嵌套的 IRMA 模型。该 Chance Discovery 模块包括:State Sensation、Novelty Introduction 和 Chance Detection。最后,作者从动机相关性的角度给出了 CD 的一个初步的形式系统。

Peter McBurney 和 Simon Parsons 借用辩证论证(dialectical argumentation)的形式模型来描述 Chance Discovery^[6]。作者提出了 Discovery Agora 的一种形式结构,并且建立了发现式对话的模型。

3 Chance Discovery 的技术手段

从 Chance Discovery 概念的提出到现在的蓬勃发展,证

明了 Chance Discovery 是一个需要研究的重要课题。除了论证 Chance Discovery 在各个领域中的重要作用,以及在具体领域下的体现,从理论和技术的角度来阐述 Chance Discovery 是关键的任务。从 Chance Discovery 的现有形式化研究成果来看,这方面的研究并不多,概括起来大致可以分为下面三个主要工作:

- (1) 基于溯因推理 (Abductive Reasoning) 的理论;
- (2) 基于动态概率逻辑 (Dynamic Probability Logic) 的理论;
- (3) 基于 L_{mc} 的理论。

这三项工作借助逻辑工具对 Chance Discovery 的一些性质作了形式描述,从而使 CD 领域开始进入严格意义上的理论研究阶段。下面简略介绍这三个理论。

3.1 溯因推理

Abe 首次从溯因推理的角度来研究 Chance Discovery。他认为一个事件或状态被认为是 Chance,则该事件或状态属于下面两种情形之一:

- (1) Chance 是一些未知假设集合。因此一个原本可以被解释的现象现在不能被解释。因此有必要生成这些缺失的假设。这些缺失的假设就可以被认为是 Chance。
- (2) Chance 本身是一些已知的事实,但是对于怎样使用它们去解释一个现象是未知的,即一组规则缺失。在这种情况下,规则可以通过溯因推进的方法生成。通过溯因推理生成的规则被认为是 Chance^[7]。

Peirce 在 1955 年的文章中这样刻画 Abduction: C 是一个意外的现象;如果 A 成立,那么 C 的成立便是合理的;因此假设 A 的成立是合理的^[8]。

在这个一般理解的基础上,许多形式 Abduction 推理系统提了出来,Theorist 是最著名的一个^[9]。它的推理过程是这样的:

- (1) $\Sigma \models O$: Σ 是 agent 拥有的知识库, O 是观察到的意外现象。O 不能被 agent 的知识库所解释;
- (2) $\Sigma \cup h \models O, \Sigma \cup h \not\models \square$: 如果引入一个假设 h 到知识库中,并且 $\Sigma \cup h$ 是一致的,且 O 能够被新的知识库所解释;
- (3) 如果 h 满足上面两个条件,则可以认为 h 是需要的假设。

在 Theorist 中, h 是选择性的,即从事先给出的一个假设集 H 中选出来。显然,这种处理没有真正刻画 Chance 的直观意义,因为事先给出的假设集不能给出合理的解释。基于此, Abe 把 CMS^[10] 引入 Chance Discovery, 因为 CMS 能自动生成最小支持子句。用 CMS 解释 Chance Discovery 的过程可以如下表示:

- (1) $\Sigma \models O$: 如上;
- (2) $\Sigma \cup S \models O (\Sigma \not\models \neg S)$: CMS 返回一个极小子句集 S, S 和 Σ 一起能解释 O, 而且 $\neg S$ 不能由 Σ 解释;
- (3) S 可以被认为是我们需要的假设。

CMS 能自动生成假设,而不需要预先给出假设集。但是在 CMS 中, S 作为补足性推理 (Supplemental Reasoning) 是逻辑正确的,但是它的正当性并没有被保证^[11]。

在此基础上, Abe 把类比推理和 CMS 结合在一起,提出了溯因类比推理 (Abductive Analogical Reasoning: AAR)^[7,11,12], 具体过程可表示如下。

- (1) $\Sigma \models O$: 如上;
- (2) $\Sigma \cup S \models O (\Sigma \not\models \neg S)$: CMS 返回一个极小子句集 S, S 和 Σ 结合能解释 O, 但是 S 的否定不能由 Σ 推出;
- (3) $\Sigma \models S' \rightarrow O (S \vdash \neg S' \text{ and } \Sigma \models \neg S')$: 如果 S 能类比

地推出 S' 并且 $\neg S'$ 能由 Σ 推出, S' 和 Σ 一起能近似地解释 O;

(4) $\Sigma \models S'' \rightarrow O (S' \vdash \neg S'' \text{ and } \Sigma \not\models \neg S'')$: 如果 S' 能类比地推出 S'' 并且 $\neg S'$ 不能由 Σ 推出, S'' 和 Σ 一起能近似地解释 O;

(5) S'' 可以被认为是假设。

因此, 经由溯因推理生成的事件从逻辑上并不必然成立, 它只是提供了某种可能。

AAR 通过类比关系部分突破了演绎原理, 即由它所生成的后承并不保证逻辑上真, 也不保证事实上真, 但是它提供了一些可行的选项, 通过这些选项来找出最合适的 Chance。

3.2 动态概率逻辑

Norihiro Ogata 用动态概率逻辑 (DPrL) 的方法来研究 Chance Discovery^[13]。作者主要考察了“主动式机会” (Subjective Chance), 即该机会可以被主体所利用来改变某些环境状态 (相反地, “被动式机会” (Objective Chance) 则主要强调该事件被预测的程度)。作者认为, 主动式机会是受到主体的认知状态的变化所影响的。而主体的认知状态的变化可以用动态概率逻辑来描述。

作者给出了概率 Kripke 系统 (Probabilistic Kripke Systems: PKS):

定义 1 令 W 是一个集合, Φ 是原子命题集, Act 是行动集, Γ 是一个单调算符。

1. $\langle W, e \rangle$ 是 Γ -上代数, 如果 $e: W \rightarrow \Gamma(W)$
2. $\langle W, e \rangle$ 是 Γ -Kripke 系统, 如果 $\langle W, e \rangle$ 是 Γ -上代数, 其中 $\Gamma: X \mapsto \text{pow}(\Phi) \times \text{pow}(\text{Act} \times X)$
3. $P = \langle W, e, \{\rho_\alpha\}_{\alpha \in \text{Act}} \rangle$ 是一个概率 Kripke 系统, 如果 $\langle W, e \rangle$ 是一个 W 上的 Γ -Kripke 系统, 并且 $\rho(\alpha): W \times W \rightarrow [0, 1]$ 是一个 W 上的马尔可夫过程, 并且满足下面的条件
 - 对任意 $\alpha \in \text{Act}, \rho(\alpha, w, u) \in (0, 1)$ iff $\langle \alpha, u \rangle \in \pi_2(e(w))$;
 - $\rho(\varphi?) (w, u) = 1$ iff $w = u$ 且 $P, w \models \varphi$;
 - $\rho(p?) (w, w)$ 对所有 $p \in \Phi$ 有定义;
 - $\rho(\alpha) (w, u)$ 对所有 $\alpha \in \Pi$ 有定义;
 - $\rho(\varphi_1 \vee \varphi_2?) (w, w) = \rho(\varphi_1) (w, w) + \rho(\varphi_2) (w, w)$ 如果 $\{w | \rho(\varphi_1?) (w, w), \rho(\varphi_2?) (w, w)\} \neq \emptyset$;
 - $\rho([\alpha]\varphi?) (w, w) = \sum \{\rho(\alpha, w, u) | \rho(\alpha, w, u) > 0 \rightarrow \rho(\varphi) (u, u) = 1\}$;
 - $\rho(P \geq r \varphi?) (w, w) = \begin{cases} 1 & \text{if } (\varphi?, w, w) \geq r \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$

Γ -概率 Kripke 模型的集合记为 PKS(Γ)。

定义 2 令 $P = \langle W, e, \rho \rangle, Q = \langle U, f, \sigma \rangle \in \text{PKS}(\Gamma), w \in W, u \in U$. 称 $\langle P, w \rangle$ 与 $\langle Q, u \rangle$ 互仿, 记作 $\langle P, w \rangle \approx \langle Q, u \rangle$, 当且仅当:

假设 $\langle P, w \rangle \approx \langle Q, u \rangle$ 满足:

- $\forall \alpha \in \text{Act}, \langle \alpha, w_0 \rangle \in \pi_2(e(w)), \exists \langle \alpha, u' \rangle \in \pi_2(f(u)) \& \sum_{w' : \langle P, w' \rangle \approx \langle Q, u' \rangle} \rho(\alpha, w, w') = \sum_{u' : \langle P, w_0 \rangle \approx \langle Q, u' \rangle} \sigma(\alpha, u, u')$
 - $\forall \varphi \in L(\varphi, \Pi), \rho(\varphi?) (w, w) = \sigma(\varphi?) (u, u)$,
- 称 $\langle P, w \rangle$ 不在 φ 上与 $\langle Q, u \rangle$ 互仿, 记作 $\langle P, w \rangle \not\approx_\varphi \langle Q, u \rangle$, 当且仅当:

假设 $\langle P, w \rangle \approx \langle Q, u \rangle$:

- $\forall \alpha \in \text{Act}: \langle \alpha, w' \rangle \in \pi_2(e(w)); \exists \langle \alpha, u' \rangle \in \pi_2(f(u)) \& \sum_{w'' : \langle P, w'' \rangle \approx_\varphi \langle Q, u_0 \rangle} \rho(\alpha, w, w_0) = \sum_{u'' : \langle P, w_0 \rangle \approx_\varphi \langle Q, u'' \rangle} \sigma(\alpha, u, u_0)$
- $\sigma(\varphi?) (u, u) = 1$
- $\forall \psi (\neq \varphi) \in L(\varphi, \Pi): \rho(\Psi?) (w, w) = \sigma(\Psi?) (u, u)$

≈用作定义更新动作 $\varphi!$ 的语义。

定义 3 令 $p \in \varphi, r \in [0, 1]$

公式 $\varphi \in L(\Phi, \Pi)$ 如下定义:

$$\varphi ::= p \mid \varphi_1 \vee \varphi_2 \mid \neg \varphi \mid [\alpha] \varphi \mid (P \geq r) \varphi$$

行动 $\alpha \in \text{Act}(\varphi, \Pi)$ 如下定义:

$$\alpha ::= \varphi! \mid \varphi? \mid \alpha_1, \alpha_2 \mid \alpha_1, \alpha_2 \mid \alpha^*$$

DPrL 的语义定义在有序对 $\text{PKM } P = \langle W, e, \{\rho(\alpha)\} \in \text{Act}(\varphi, \Pi) \rangle$ 和状态 $w \in W$ 之上, 定义如下:

$$\bullet P, w \models p, \Leftrightarrow p \in e(w) \& \rho(p?)(w, w) = 1$$

$$\bullet P, w \models \varphi_1 \vee \varphi_2, \Leftrightarrow P, w \models \varphi_1 \vee P, w \models \varphi_2, \rho(\rho_1 \vee \rho_2?) = \rho(\varphi_1?) + \rho(\varphi_2?)$$

$$\bullet P, w \models \neg \varphi, \Leftrightarrow P, w \not\models \varphi \& \forall w, u \in W, \rho(\neg \varphi?)(w, u) = 1 - \rho(\varphi?)(w, u)$$

$$\bullet P, w \models (P \geq r) \varphi, \Leftrightarrow \rho(\varphi?)(w, w) \geq r$$

$$\bullet P, w \models [\alpha] \varphi, \Leftrightarrow \forall \langle P', w' \rangle: \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\alpha]} \langle P', w' \rangle \Rightarrow P', w' \models \varphi$$

$$\bullet \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\varphi?]} \langle P, w \rangle \Leftrightarrow P, w \models \varphi \& \rho(\varphi?)(w, w) = 1$$

$$\bullet \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\alpha_1, \alpha_2]} \langle P_0, w_0 \rangle \Leftrightarrow \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\alpha_1]} \langle P', w' \rangle \& \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\alpha_2]} \langle P'', w'' \rangle \& \rho'(\alpha_1)(w, w') = r \cdot \rho(\alpha_1)(w, w') \& \rho'(\alpha_2)(w, w'') = (1-r) \cdot \rho(\alpha_2)(w, w'')$$

$$\bullet \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\alpha_1, \alpha_2]} \langle P', w' \rangle \Leftrightarrow \exists P'' \in \text{PKS}(\Gamma); w'' \in W_P \& \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\alpha_1]} \langle P'', w'' \rangle \& \langle P'', w'' \rangle \xrightarrow{[\alpha_2]} \langle P', w' \rangle \& \rho'(\alpha_1; \alpha_2) = \rho''(\alpha_2) \cdot \rho(\alpha_1)$$

$$\bullet \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\alpha *]} \langle P', w' \rangle, \Leftrightarrow \langle P, w \rangle \cup \bigcup_{k=0}^{\infty} \langle [\alpha] \rangle^k \langle P', w' \rangle \& \rho(\alpha *) = \sum_{k=0}^{\infty} \langle [\alpha] \rangle^k$$

$$\bullet \langle P, w \rangle \xrightarrow{[\varphi!]} \langle P', w' \rangle \Leftrightarrow \langle P, w \rangle \approx_{\varphi} \langle P', w' \rangle \& \rho' = \rho_{\varphi}$$

• ρ_{φ} 如下定义:

$$1. \rho_p(\alpha)(w, u) =$$

$$\begin{cases} 1 & \text{if } u = w \& \alpha = p? \\ \rho(\alpha)(w, u) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$2. \rho_{\rho_1 \wedge \rho_2}(\alpha)(w, u) =$$

$$\begin{cases} 1 & \text{if } u = w \& \alpha = \varphi_1 \wedge \varphi_2, \varphi_1, \varphi_2 \\ \rho(\alpha)(w, u) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$3. \rho_{\neg \varphi}(\alpha)(w, u) =$$

$$\begin{cases} 1 & \text{if } u = w \& \alpha = \neg \varphi \\ \rho(\alpha)(w, u) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$4. \rho_{[\beta] \varphi}(\alpha)(w, u) =$$

$$\begin{cases} 1 & \text{if } u = w \& \alpha = [\beta] \varphi \\ \rho(\alpha)(w, u) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$5. \rho_{(P \geq r) \varphi}(\alpha)(w, u) =$$

$$\begin{cases} 1 & \text{if } u = w \& \alpha = (P \geq r) \varphi \\ \rho(\alpha)(w, u) & \text{otherwise} \end{cases}$$

最后作者讨论了主动式机会和被动式机会之间的差别, 认为前者是指主体能把握并能对所发现的 Chance 加以利用。作者还用两个例子说明了动态概率逻辑的在处理某些问题上的优越性。

3.3 $L_{m\&c}$ 系统

许多研究者已经论证了 Chance 与主体愿望之间的相关性联系。我们利用 $L_{m\&c}$ 系统给出了一种刻画相关性的直观语义解释和形式推理工具^[2,14~16]。

作者首先论述了 CD 相关性论题: 一个事件/状态与 agent 的某个目标 CD 相关, 当且仅当该事件/状态的实现能使该目标得到“(部分)实现”或遭到“(部分)破坏”。进一步地, 一个目标的“部分实现”, 是指该目标的“部分内容”在某状态下为真; 一个目标的“部分破坏”是指该目标的“部分内容”在某状态下为假。例如, 对于公式 $x \wedge y$, x 的实现是对 $x \wedge y$ 的部

分实现, 因此可以认为 x 是 $x \wedge y$ 的“部分内容”, x 与 $x \wedge y$ 存在 CD 相关性。又如, x 的实现能导致 $x \vee y$ 的实现, 因此同样可以认为 x 是 $x \vee y$ 的“部分内容”, x 与 $x \vee y$ 存在 CD 相关性。

在“(部分)实现”和“(部分)破坏”的直观语义解释下, 作者给出了部分内容的形式刻画。

定义 4(局部相关) 称 φ 与 Ψ 局部相关, 若存在 CL 赋值 π 和 π' 使: (1) $\pi(\varphi) \neq \pi'(\varphi)$; (2) $\pi(\Psi) \neq \pi'(\Psi)$; (3) $\forall x \in \text{Atom}(\varphi) \cap \text{Atom}(\Psi): \pi(x) = \pi'(x)$;

否则称 φ 与 Ψ 无关。

若上述 π 和 π' 还满足 (4) $\pi(\varphi) = \pi(\Psi) \& \pi'(\varphi) = \pi'(\Psi)$, 则称 φ 与 Ψ 局部正相关。

定义 5(强子式) 称 Ψ 是 φ 的强子式, 若存在 φ 强等值于 φ 并且 Ψ 是 φ 的子公式。

定义 6(正相关) 称 φ 与 Ψ 正相关, 若 Ψ 与 φ 局部正相关并且对 Ψ 的任何强子式 Ψ' , Ψ' 与 Ψ 局部正相关蕴涵 Ψ' 与 φ 局部正相关。

定义 7(正子式) φ 的强子式 Ψ 称为 φ 的正子式, 若 φ 与 Ψ 正相关。

定义 8(基子式) 称 Ψ 为 φ 的基子式, 记为 $\Psi \in [\varphi]$, 若 Ψ 是 φ 的正子式并且 Ψ 的任何真强子式都与 φ 无关。

定义 9(部分内容) φ 的部分内容是满足下列条件的最小集合 $\{\varphi\}$: (1) $[\varphi] \subseteq \{\varphi\}$; (2) 若 $\Psi_1, \Psi_2 \in \{\varphi\}$ 和谐, 则 $\Psi_1 \wedge \Psi_2, \Psi_1 \vee \Psi_2 \in \{\varphi\}$; (3) 若 $\Psi_1 \in \{\varphi\}, \Psi_2$ 强等值于 Ψ_1 或 $\Psi_2 = \Psi_1 \wedge (\Psi_1 \vee \Psi_2)$, 则 $\Psi_2 \in \{\varphi\}$ 。

性质 1(复合封闭性) 若 $\Psi \in \{\varphi\}$, 则 $[\Psi] \subseteq [\varphi]$ 。

性质 2(复合单调性) $[\Psi] \subseteq [\varphi] \Leftrightarrow \{\Psi\} \subseteq \{\varphi\}$ 。

定理 1(内容保持性) $\models_{L_{m\&c}} \varphi \rightarrow \Psi \Leftrightarrow [\Psi] \subseteq [\varphi]$ 。

引理 1(复合完全性) $\models_{L_{m\&c}} \varphi \rightarrow \varphi \in \{\varphi\}$ 。

定理 2(相关性) $\models_{L_{m\&c}} \varphi \rightarrow \Psi \Leftrightarrow \Psi \in \{\varphi\}$

在上述形式化定义基础上, 我们给出候选 Chance 的定义:

定义 10(候选 Chance) 一个事件/状态 Ψ 是关于 agent 目标 φ 的候选 Chance, 当且仅当 $\Psi \in \{\varphi\}$ 或 $\neg \Psi \in \{\varphi\}$ 。

推论 1 一个事件/状态 Ψ 是关于 agent 目标 φ 的候选 Chance, 当且仅当 $\models_{L_{m\&c}} \varphi \rightarrow \Psi$ 或 $\models_{L_{m\&c}} \varphi \rightarrow \neg \Psi$ 。

定义 11(候选 Opportunity) 一个事件/状态 Ψ 是关于目标 φ 的候选 Opportunity, 当且仅当 $\Psi \in \{\varphi\}$ 。

推论 2 事件 Ψ 是 agent 目标 φ 的候选 Opportunity, 当且仅当 $\models_{L_{m\&c}} \varphi \rightarrow \Psi$ 。

定义 12(候选 Risk) 一个事件/状态 Ψ 是关于 agent 目标 φ 的候选 Risk, 当且仅当 $\neg \Psi \in \{\varphi\}$ 。

推论 3 事件 Ψ 是 agent 目标 φ 的候选 Risk, 当且仅当 $\models_{L_{m\&c}} \varphi \rightarrow \neg \Psi$ 。

上述工作集中阐述了 CD 相关性论题, 说明了相关性的一种直观理解, 给出了 Chance, Opportunity 和 Risk 的一种形式刻画, 并且证明了上述系统与 $L_{m\&c}^+$ 具有同等的推理能力, 因而从直观解释到推理工具形成了一套较系统的理论。

4 Chance Discovery 的应用

Chance Discovery 尚未建立统一的理论和成熟的技术。因此, 目前 Chance Discovery 的应用研究主要涉及对不同领域应用需求以及各个领域中 Chance 特性的分析。本节简要介绍两个具体领域中体现了 Chance 和 Chance Discovery 特性的例子。

(1) 商业和经济学领域: Hiroko Shoji, Mikihiko Mori 和

Koichi Hori 在文[17]中从商业的角度,分析了顾客在购物时的心理状态。他们认为顾客的购物行为可以分为两种类型,一种类型是问题求解型(problem-solving),即在购物前已经想好购买的具体计划;另一类是概念澄清型(Concept Articulation),即在购物前没有具体的购买计划,而是在购物过程中通过与售货员的对话,对自己购买的需求逐渐清晰。作者详细分析了第二种类型。在这种情形下,售货员的推荐对购物行为的成功具有重要的作用。售货员的反应可以分为两类:预期反应和非预期的反应。其中非预期的反应能够提供顾客以新信息,从而让顾客发现潜在的购买需求,改变预先设定的购买计划。这对售货员来说可能发现新的机会,从而从另一个方面使顾客的购买行为成功。在此基础上,作者建立了一个计算机辅助系统 S-Conart(Concept Articulator for Shoppers),来辅助售货员完成上面的任务。

(2)教育学领域:Tomoya Horiguchi 和 Tsukasa Hirashima 在文[18]中从教育学角度探讨了 Chance Discovery。他们认为,在教育过程中,一个学生所犯的(称为反例)对该学生学得新知识而言是一个 Chance。教师的角色是帮助学生把握这个机会。在计算机辅助教学中,这种情形称为发现式学习环境。发现式学习存在两个困难:一是需要一些基本技能,比如怎样产生一个假设,怎样设计实验进行测试;二是如果一个系统过多地解释反例,反而会削弱学生的积极性,而积极性在学习过程中具有更大的价值。

对于反例,下列两个性质是本质性的:

1. 反例必须有意义,并且可接受。当反例和预计之间的区别是清晰并且可靠的时候,反例才容易被接受。

2. 反例必须具有建设性,以纠正学生原先的理解。因此,反例必须包含足够的信息。

作者以力学教学为背景,建立了一个基错模拟(Error-Based Simulation)管理系统,模拟学生错误的运动方程。试验证实该系统对于提高学习效果具有较大的帮助。

总结和讨论 本文简要讨论了 Chance Discovery/Chance Management 的研究背景,分析了 Chance 在不同学科领域中的特性,介绍了三个主要的形式化工作,并且讨论了有关的应用。尽管 Chance Discovery 从被提出以来就受到各个领域研究者的关注,并且每年几次的国际学术讨论会蓬勃发展,但是,作为一个新兴的学科,还有很多问题值得研究。下面是一些亟待解决的问题,包括技术、理论甚至哲学问题:

1. Ohsawa 给出的 Chance 定义是一个非形式化的直观上的定义,其中“具有重要影响”和“很少出现”在形式上如何定义?。当前的几个定义并没有严格符合 Ohsawa 的这个直观定义。Abe 的定义相对比较符合直观,但是和 Ohsawa 的定义是从不同的角度来讨论的。我们在文[2,14~16]中的定义主要从动机相关性的角度来讨论,并且给出的是一个“候选 Chance”的定义。

2. 作为 Chance 的一个事件,并不是其本身只具有 Opportunity 或 Risk 的性质。从直观上理解,一个 Chance 之所以成为 Chance,是因为它尚未出现,但在预期中,或者是它已出现,但是影响未知。因此,一个 Chance 本身可能同时具有 Opportunity 和 Risk 的特性,只是两者所占的比重不同,才体现出不同的特性。但是这个比重如何刻画?

3. 目前的主要理论工作都集中在 Chance Discovery,对 Chance Management 的研究很少,尽管 Ohawa 从一开始就认为 Chance Management 和 Chance Discovery 具有同等重要的

地位。作者认为,Chance Management 的一个功能就是监视执行。因为如第二点所述,如果 Chance 是一个同时具有 Opportunity 和 Risk 性质的事件,并且承认环境是动态变化的话,那么它所体现出来的最终性质可能也是动态变化的,即体现出一定的非单调特性。因此,Chance Management 就要监视 Chance 的角色在动态环境下的动态变化过程,并且根据实时情况进行报告和控制。

随着国际 Chance Discovery 研究的进展,相信上面这些问题能够逐渐被澄清,并且能够在理论和应用上有所突破。

参考文献

- Ohsawa Y. The Scope of Chance Discovery. In: post-Proc. of JSAI Intl. Workshop on Chance Discovery (LNAI2253), 2001. 413
- Ji Chengyu, Chen Xiaoping. Chance Discovery in a BDI Perspective of planning: anticipation, participation and correlation. In: Proc. of the 2nd Intl. Workshop on Chance Discovery, Tokyo, 2002
- Prendinger H, Ishizuka M. A Comparative Study of Approaches to Chance Discovery (Preliminary Report). In: post-Proc. of JSAI Intl. Workshop on Chance Discovery (LNAI2253), 2001. 425 ~ 434
- Oehlmann R. The Role of Awareness in Chance Discovery. In: Proc. of the 2nd Intl. Workshop on Chance Discovery, Tokyo, 2002
- Magnani L, Piazza M, Dosena R. Epistemic Mediators and Chance Morphodynamics. In: Proc. of the 2nd Intl. Workshop on Chance Discovery, Tokyo, 2002
- McBurney P, Parsons S. Chance Discovery and Scenario Analysis. New Generation Computing, 2002, 21(1): 13~22
- Abe A. The role of abduction in Chance Discovery. In: Proc. of SCI2001, Vol. VIII, 2001. 400~405
- Peirce C S. Abduction and Induction, chap. 11, Philosophical Writings of Peirce, Dover, 1955
- Poole D, Aleliumas R, Goebel R. Theorist: A Logical Reasoning System for Defaults and Diagnosis, The Knowledge Frontiers: Essays in the Representation of Knowledge (N. J. Cercone, G. MaCalla Eds.), Springer Verlag, 1987
- Reiter R, de Kleer. J. Foundation of assumption-based truth maintenance systems: preliminary report. In: Proc. of AAAI87, 1987. 183~188
- Abe A. Application of Abductive Reasoning. In: Proceedings of ECAI'98 Workshop on Abduction and Induction in AI
- Abe A. The Relation between Abductive Hypotheses and Inductive Hypotheses. In: Proc. of IJCAI97 Workshop on Abduction and Induction, 1997. 1~6
- Ogata N. Towards Dynamic Probabilistic Logics: A Survey and a Proposal. In: Proc. of the 2nd Intl. Workshop on Chance Discovery, Tokyo, 2002
- 诸世卓, 陈小平. Chance Discovery 中的相关性, 已投稿
- Zhu Shizhuo, Chen Xiaoping. Relevance in Chance Discovery. Accepted to CD&CM Workshop in HCI 2003
- Zhu Shizhuo, Chen Xiaoping, Ji Chengyu. Integrating Integrating Lm4c with Abductive Reasoning for Chance Specification and Chance Discovery Inference. Accepted to CD&CM Workshop in HCI 2003
- Shoji H, Mori M, Hori K. Concept Articulation as Chance Discovery by Shoppers. In: Proc. of the 2nd Intl. Workshop on Chance Discovery, Tokyo, 2002
- Horiguchi T, Hirashima T. The Role of Counterexample in Discovery Learning Environment: Awareness of the Chance for Learning. In: T. Terano, et al. eds. JSAI2001 Workshops, LNAI 2253, Springer, 2001. 468~474