

TP18

## 2. 学习之我见

R.C.Schank

多年来，当新研究生来到耶鲁大学时，他们都说他们想搞的课题是学习。在人工智能中，对学习似乎有一种普遍的魅力，这源于两个基本上不同的现象。一方面，我们自然想找出一个实质上未被解决的问题的答案。另一方面，也切实认识到，一台不会学习的计算机是不能宣称具有智能的。

因此，这些新来的研究生有这种兴趣是无可挑剔的。无论从重要性还是从创新来看，他们所选的这个问题确实很好。但也许令人惊讶的是，我们居然不让他们从事有关学习课题的研究，为什么呢？我们的理由是，当我们对一个过程的结果还没有形成一个真正的概念时，就去进行研究，是不合适的。特别是，在我们还不清楚究竟学到了什么的时候，就去从事学习课题的研究是很困难的。

目前耶鲁大学正在研究的主体是人类理解模型，这意味着，如果我们对有关人类理解过程性质没有一点儿概念，那么我们就无法真正考察学习课题。现在的问题不在于我们怎样走下去，而是“我们去哪里？”

换种方式来讲这个问题，进行学习课题的研究就是要确定一组合理的有关学习的问题。不能只要求学习程序去学习，它们必须学习，但学什么呢？过去常常提到学习新词汇的程序。假如给定一组分析自然语言的程序且它们需要一个大的词汇表，那么使这些程序自动地获取词汇是很有意义的。事实上，我们在这个问题上也花过力气。我们的故事理解程序SAM<sup>[9]</sup>有一个运行的脚本及相关的词汇表，当它碰到一个它不认识的单词时，SAM就学习词汇<sup>[9]</sup>。因此，在阅读有关汽车事故的报道时，SAM看到单词“Buick”出现

在它期望出现交通工具的地方，并且知道汽车也有名字，这时SAM就会假设“Buick”就是这辆汽车的名字。

以这种方式学习新词汇是“在上下文中学习”的例子。关键在于没有其它种类的学习。我们之所以不让我们的学生去从事学习课题的研究，是因为我们还没有充分形成促进学习的环境。当一些知识结构比单词的词义更容易了解时，就有可能学习新词汇。即，当一个含有有关汽车事故信息的知识结构在处理中起作用时，我们通过弄清大的上下文的哪一部分可能与之相关，就可以确定新单词的词义。更进一步说，因为我们知道了其它词义的结构，我们就可以推出“学到了什么”。即，我们知道了一个词义看起来像什么，因而我们可以创建这类的的一个实体，并且还知道此词义与何处相关，因而我们可以创建一个具有合适上下文的词义。此外，从发展观点看，单词的学习也是有意义的。很有可能的是，一个系统知道有关汽车事故的词汇，但并不晓得汽车的名字。在这种情况下，学习这样一个名字也是非常自然的。

在建立一个学习系统时，我们认为，有四个标准是至关重要的。第一个标准是我们称之为“形态(FORM)”的标准。如果我们不知道如何记住我们的结果，那么我们就无法学习某些东西。我们必须知道要学习什么。

第二个标准关系到需要在执行高级理解任务的过程中进行学习，而执行这种任务要由主线(overarching)记忆结构制导。我们把此称为“上下文(CONTEXT)”标准。拥有一个可用的上下文结构来存放我们的新信

息，这对于建立此信息的相关性和确定其内容都是极其关键的。

第三个标准是“发展 (DEVELOPMENTAL)”标准。人工智能中建立学习系统的意图不少，而所学到的东西并不具备发展的意义。经常提出要建立这样的系统：已知Y和Z，要学习X。但X可能是在Y和Z之前早就被人很自然地就会了。因而学习X就不会有什么大的收获。任何学习系统必须满足“发展的”要求。如果一个系统不能学习比它已知的概念更复杂的概念，它就不能宣称是一个学习系统。

最后是第四个标准，我们称之为“进化 (EVOLUTIONARY)”要求。在学习开始后，仍保持静止不变的学习系统是不会有长久生命力的。学习是不间断的，在学会一个结构以后，就必须使用它，而使用反过来又影响其形态，改变其对错误和最初没料到的新信息的响应。这个理论必须刻划出这种新信息制导结构不断修正的方式。

目前在耶鲁大学，几乎每个研究项目都与学习相关。那么发生了什么变化呢？让我们考虑一下学习系统的四个标准。在过去四年中，我们的研究已经使我们相信，我们对这些标准正确回答的实质有了某种理解。发生的变化在于我们已经发现了学习中成立的某些原则。更进一步说，我们已经研究了在理解时什么样的高级知识结构是有效的问题。随着我们对这些结构开始精化，并感觉到要学习什么样的结构（形态标准），这些结构是怎样驱动学习的（上下文标准），在什么条件下自然地开始出现结构（发展的标准），以及结构本身如何变化（进化的标准）。下面将讨论这个变化过程。

## 一、我们有关学习课题的工作

### 1.1 形态：记忆的结构

改变我们的学习方法之例子之一是在脚本 (script) 上开展的工作。如一开始

所设想的，脚本是些静态数据结构，负责在良结构情况发生的故事处理中提供推理。因而在某种意义上讲，脚本是一种高级事件的表示模式。我们关于脚本的工作涉及在固定事件情况中为角色和事件提供缺省的处理问题。

虽然脚本满足学习的形态标准，并且表明具有发展相关性<sup>[10]</sup>，但我们有关故事理解工作的本质往往不可能满足其它两项要求（即上下文标准和进化标准）。由于我们对学习并不特别感兴趣，所以也没有多大必要这样做。

由于某些心理学实验指出了需要与其它结构互连的结构<sup>[3]</sup>和我们有关计算机理解故事的工作解决同一问题，所以迫切需要创立一种满足上下文与进化要求的理论。一旦我们的程序具有多种知识源（例如，BORIS程序，Lehnert与Dyer, 1980），显而易见的是，需要以这种方式使用结构知识，即利用从两个脚本之间可能获得的概括 (generalization)。我们需要的是，一个系统要模拟人在其概括和学习方面的记忆能力。即，我们需要有相关的脚本来帮助形成新脚本的内容（上下文要求），还要使两个脚本变成一个脚本结果（进化的要求）。

这一概括要求引导我们去建立共享信息的记忆结构，因而开始有了一个相关的进化历史。以前，我们的记忆模式使用脚本作为记忆结构，因为不同的脚本是全然不同的实体。医生的脚本由医生的情景 (scene) 组成，牙医的脚本由牙医的情景组成，两者从未有过联系。

我们开始认识到，情景应该由两个脚本共享。我们的方案是，“医生”和“牙医”的结构不应完全分离，实际上每个都是由职业上共同的诊所就诊的情景构成的，诸如“候诊室”、“交款”及“叫下一个”等，还包括一系列各自特有的情景，如“去牙垢”。我们不用进入这种模式的细节，就可以看到诸如“候诊室”这样的情景是由许多高级脚本

结构所共享的。我们把这些高级结构称作记忆组织包 (Memory Organization Packet, 或MOP)。这些结构与脚本的处理方式是相同的, 不过它们组织的情景用来存贮此情景中发生的事件。因而, 一系列事件中有关候诊室的内容就存贮在候诊室的情景之下。但是候诊室的情景又是由牙医和医生的结构所共享的。因此, 如果记住了发生于候诊室的某件事情, 那么还不能确定它究竟是发生于医生的上下文中还是牙医的上下文中。如果两种上下文都可能, 比如说, 被试验者知道他阅读的故事与医生和牙医都有关, 那么就会发生记忆混淆。

为什么我们所具有的系统应容许混淆呢? 答案是要容许学习。有了这样一个系统, 我们可以得到这样一些好处, 一是使非常高级的结构作为情况特有的结构 (关于如何处理复杂但又是公共的情况的详细知识); 二是使非常低级的结构作为通用结构 (大量可在其上进行概括的实例)。因而利用MOP和情景, 我们可以得到一种表示模式, 即一种形态, 它可以作为我们研究学习的基础。

## 1.2 上下文和进化, 边理解边学习

学习任务显然不能孤立进行。一个程序只进行“学习”, 而不做任何其它事情是不可能的。这是因为学习只对改进某一任务执行情况才有意义。如果没有一个明确要执行的任务, 那么学习模型就没有一个可合理定义的上下文 (即使此时程序具有学习动机), 或者学习的结果不知应取什么形态。如果某一复杂任务不适用, 无论“学习”材料取什么形态, 学习即使不完全无意义, 也肯定是价值不大。正如我们所看到的, 这是某些学习模型实际出现的问题。

我们解决此问题的方法涉及到程序的最初目标要承担复杂的理解任务, 如象阅读有关恐怖主义的新小说。这一方法依赖于MOP概念作为制导理解过程的结构。

我们相信, 象MOP这样的结构几乎为每一情况提供上下文, 我们人作为理解者以此

来发现自己。无论我们是在饭店, 在旅行, 在办公室, 还是在晚会上, 记忆中都有一种主线结构, 来组织有关将会发生什么的期望和刚刚发生了什么的记忆。正是在这种上下文中, 学习才会发生。

类似地, 我们利用MOP提供的上下文来设计我们的程序。这种上下文的功能是提供期望。因而, 正是当这些期望失败时, 记忆结构才发生某些变化。这就是学习意指我们记忆结构及其期望的变化。

为了能在一次期望失败时适当地修改我们的记忆结构, 从某种意义上说, 我们必须有能力解释失败。即, 我们必须分析导致失败情况的因果结构, 并且确定是什么引起了麻烦。这个过程必然对应改变什么做出决定: 应重新说明期望以排除某些情况呢, 还是完全将它从情景中排除? 作为一个整体, 应构造一个情景的不同版本呢, 还是在组织MOP时使用一个不同的情景来处理这类情况? 应构造一个全新的MOP吗? 为了决定究竟是哪一种情况且不管如何去构造所决定的新结构, 我们首先必须努力去理解失败的原因, 并理解这种情况与我们的现行MOP和情景的因果结构有何关系。

期望的失败产生这种动机, 并且可以确定是否在一给定情况下激发系统学习以及激发到什么程度。这一点很重要, 因为解释一次失败过程非常昂贵 (原因是它是由因果链组成的), 并且原则上不能对产生的回答限定时间。因而, 系统追踪解释过程的动机对于理解者的资源分配是一个重要的问题, 也有必要在学习理论中进行考虑。

一个理解系统应该存储有关期望失败和失败的期望这两者的情节。当发生其他失败时, 我们就检查失败了期望, 看看是否已经存储了其它实例。当找到一个实例时, 在解释失败中就可以使用上述两种情节。这对于去除不相关性, 是有极大好处的。此外, 通过以这种方式存储情节, 我们可以确定这种事发生的频度, 这与确定问题有很大关

系。

应该指出这个理论现实地预言了人的行为,即,在正常的理解过程中,发生一次期望失败,将自然地产生回忆,追想起出现同一种期望失败的过去实例。事实上,情况也是如此,下面我们将讨论几个例子。

## 二、当前的学习模型

在更详细讨论我们的学习模型之前,有必要弄清楚今天人工智能与心理学中认为是重要的一些学习问题。

### 2.1 概念学习

一般认为,“概念学习”也许是与人工智能和认知心理学中的学习理论最相关的。这是Winston的“从例子学习结构描述”的程序范例,它可能是人工智能中最著名的工作,而且也是Anderson, Kline和Beasley的模型范例<sup>[1]</sup>。据我所知,这个模型的理论基础最早出现于Bruner, Goodnow和Austin的著作之中<sup>[2]</sup>。一般而言,这里我们想到这些模型提出的关键问题是,要发现一种“概括”由“特性”集定义的实例的形式化机制。

**2.1.1 概念学习模型** Bruner, Goodnow和Austin (BG & A) 模型假定一个事先定义的范畴集合和一些有关一个例子是否落入给定范畴的确定性判断。其任务是找出一个如他们所说的属性或“特性”集合,用以正确地区分出哪些例子可分类为一个范畴。

这个理论的基本看法是,学习存在两种有趣的情况:一是输入应被分类为一给定范畴,但不满足准则,二是输入不应被分类为一给定范畴,但却满足准则。

在前一种情况下,动作是抛弃那些妨碍识别新例子的特性。在后一种情况下,动作是从以前看到的所有例子中找出某些未被注意或未加考虑的特性。

Winston对这个基本理论的贡献主要在于他仔细地考虑了“特性”的本质和特性比较中所涉及的特殊问题。他认为最重要的是,

实际上人们不仅仅决定一个特性是否适合一一定义,而且能对特性做更多的事情。特别是,人们能够“概括”特性,使约束度放宽且仍有意义。为此,Winston在他的程序中引入了抽象层次。“概括”一个特性的过程是这样的:用另一个抽象层次中优先于它的特性来代替此特性。

Anderson, Kline和Beasley (AK & B) 模型,虽然比Winston模型简单得多,但也遵循了BG & A范例。在这个模型中,一个范畴解释为一个“产生”或测试-动作对,其中,测试包含输入中被测试的特性集合,而动作则只断言输入客体在动作中的从属关系。根据作者的观点,一个产生在引入一个新例子基础上,通过抛弃可能排除新实例的特性来进行概括,这与原来的BG & A模型没有两样。

**2.1.2 概念学习模型的问题** 显然,这个模型能做一些合理的事情,如果:

- 某人告诉学习程序构成什么范畴,以及什么例子彼此相关;
- 这个模型除了学习以外,并没有任何任务,或者假定任务就是把一个实例分类为一个范畴,或从一个范畴中挑出来。
- 非例子的输入可以抛弃。

但是,当我们想把此模型应用到现实世界中时,情况就不这么明显了。这时,我们必须问:这个模型中的范畴表示了什么?在Winston系统中,程序学习把积木构造分类为如“拱桥”和“桌子”等范畴。尚不清楚在人的学习中这对应着什么。肯定,这个系统并没有对应于人实际用以学习或存储如拱桥和桌子之类概念的方式。例如,桌子既可从形态,也可从功能上分类。

事实上,Nelson<sup>[3]</sup>已经证明了儿童最早的范畴定义往往基于客体的功能观点,而不是其属性。换言之,儿童定义一个客体是依据他可以用它做什么,而不是客体的知觉特性。Piaget(瑞士著名儿童心理学家)也认为,儿童对一个客体的理解是根据客体可以怎样

被结合(同化)到其现有模式当中的。

涉及概念学习范畴的另一个问题在于范畴的确定性质,即,事实上模型只能产生一组(合取)的必要且充分的特性,判定一个例子是否适合于此范畴。这样对范畴的认识,存在着两个方向性错误:作为范畴的一个描述,既有限制又太简单。

这种认识之所以有限制,是因为不合理地要求一个输入完全与被分类入此范畴的整个定义匹配。对此有几个理由。一是一般而言,当一个客体或事件第一次出现时,我们并没有存取其所有信息,因而需要学会如何根据不完全信息合理地将它分类。二是实际的智能系统并不能真正选择是否忽略任一不符合其范畴定义的输入。最合理的动作是寻找一个与输入是相近的现有范畴。例如,如果你从未见过驴子,那么把它当作马就是一种合理的理解方式。

Rosch的工作<sup>[11]</sup>支持了有关这些范畴性质的直觉想法,他表明许多诸如“水果”和“家具”之类自然范畴似乎并没有确定的特性,至少就人们实际对范畴的理解是这样的。例如,当要求一个人列出二十种常见水果的“特点和属性”时,根本就不尽相同。

这种认识之所以太简单,是因为如果一个范畴仅向理解者提供它自身的确定性东西,那么是无用的。以光顾饭店的范畴为例,如果这个范畴要有用,它必须提供有关男侍和女侍,菜单,座位,付款以及许多其它事情的期望。然而,没有一个期望是确定性的。在特性的密度上讲,我们关于光顾饭店的期望远远超出了它们的定义。

我们对以上事实的理解是,范畴具有两个方面的内容:索引和期望。这两者是受理解者在实际理解任务中使用范畴这一任务启发的。而且都是一个学习理论的逻辑方面。

**2.1.2.1 概括中的抽象分层** 让我们来一般性地考虑概括问题。我们认为,对于如何概括描述有三种基本方法,1)特性匹配,2)抽象层次,3)因果性质。AK&B方法是第一种例子,其思想

是:概括一个描述意味着抛弃一些特性。

Winston的概念更复杂些,概括在于进一步以抽象层次中的限制来替换特性限制。然而,这只是有所改进,仍不足以处理实际的概括,事实上,如果机械地加以应用,还会误入歧途。下面考虑目前在耶鲁大学进行的REGAL项目。

假设我们有一个范畴是关于劫持一架飞往古巴的飞机的事件类型。现在的输入是把飞机劫往利比亚。假设我们想考虑新实例和旧范畴之间的概括。我们认为什么是目的地的新规范说明呢?当然,一种可能是概括“地点”,这实际上就是消除目的地的差别。但是,若我们想得更微妙些,我们也许会考虑这样的概括,如“这两个国家的领导人都支持恐怖主义”,或“它们都是敌对国家”。至少对于某些人,以上概括都是合乎情理的,都可能出现在预编译的抽象层次中。为什么这些概括有意义,而不采用基于天气、人口数量、或进出口市场等事实的概括呢?

对这个问题的回答在于,概括与范畴构成的情景有着因果关系的属性。例如,我们可以接受以下的概括,即劫机者相信他会在那些国家受到保护,或者由于他本身由世界中受到侮辱,或者作为恐怖主义活动的一部分,受那个国家的委托来执行他的行动。构成概括的过程必然联系到解释一个范畴的内容为什么具有的某些属性与其它属性不一致。为了进一步表明这一点,当提出“缓和气氛”作为一个错误的概括时,我们不得不形成这样的可能解释,劫机者正在放假,尽管经过因果性质的小心分析排除了这种情况。

**2.1.2.2 问题小结** 最后,我们认为,概念学习在任何意义上都不能看成是现实世界中的一个完全学习模型。它不满足“形态”标准,因为它只能学会对范畴化是必要且充分的特性集合。这个失败可能是由于它不能充分地解决“上下文”问题的结果。除了一个试验性的分类输入外,没有提供一个理解任务的模型作为这类学习的基础,结果不能说明记忆的范畴是干什么用的,因而允许了这样的观点,范畴是些无可非议的定义。

简而言之,概念学习并没有构成一个实际的记忆模型,没有这样一个记忆模型,学习理论就不会有什么意义,而且如上所述,范畴性质的约束还引起了一些问题。此外,这个模型也不满足“发展的”要求,因为它涉及只有儿童的理解系统已充分发达后才会出现的范畴学习问题,而没有回答在学习之

前这些东西是怎样形成的。

**2.1.3 类比学习** 近来,比喻和类比已经成为认知科学的一个热门课题。这个课题的相当多工作已涉及这样一个问题:我们怎样“通过类比进行学习”<sup>[4,7,10]</sup>。已开展的大部分工作是确定一个上下文与另一个上下文间的“映射”性质。这是一个有意思的问题,我们认为,更基本的问题是“类比在一开始是怎样发生的?”

如果事先不做概括,我们又是怎样沿着概括而看到两个结构间的相似性呢?例如,考虑众所周知的电流和流体间的类比。假设一个人自己想出了这个类比,那么他究竟是怎样想出来的呢?这个类比是基于“流”的概念的,即,有一种同性物质在一个路径上移动,若不被堵住一直沿着这个路径,等等。两个领域间“映射”的客体被映射了,因为就概括的流而论,它们在功能上等价:流速下降,某处体积增加,汇集一起,等等。这个问题在于,如果我们没有流的概括性概念的某种表示,那么我们是如何确定电流相似于流体的呢?我们必须有一种流的结构,使它可以在流体领域内的这种结构也可以在非流体情况中加以引用。从这个观点看,对于所发生的事,与其说类比,不如说是一个称为“流”的一般性结构的应用。

这并不是轻视类比这个问题,而是转换焦点。从这个观点来看这个问题,如果使这些概括允许正文间的交叉提示,那么涉及的机制是什么。我们的建议是,提出一种可在非常抽象的层次上组织信息的知识结构来解决这个问题,同时将它使用在更明显,更受限的上下文中。

这样的结构就是主题组织包(Thematic Organization Packet, 或TOP)。这种结构围绕“目标交互作用”情况<sup>[14]</sup>和输出(描述目标交互作用的结果)来组织信息。

## 2.2 学习理论的要点

一个人学习理论必须解决下列问题:

- 范畴形成规则

- 索引
- 期望集合
- 变更的动机
- 失败的解释

**2.2.1 索引** 索引(INDEXING)是一个可用来发现理解的相关上下文的系统。正如我们在批评概念学习时所指出的,一个理解系统的现实模型总是必须产生一个可用来同化一个新输入的结构。由于需要在新情况下产生可能的最相关结构,同时需要快速地分类一个给定的输入,所以一个结构的索引必然要比此结构定义的范畴的确定性索引放松一些。这个事实意味着,正是索引,而不是定义,将负责把各种事情包括在一给定范畴中。但是,什么是一个索引呢?

我们对这个问题的第一个答案是结构应该由组织它们的特性来加以索引。即,当一个MOP由有关目标的组织信息形成时,这个目标被用来编一个范畴的索引。类似地,当一个TOP被建立时,它是由“目标交互作用”情况和输出进行索引的。

除了建立时编索引外,我们还有失败的期望的索引机制。这种方法不仅说明了相关的以前事件的索引,而且还导致了MOP或情景间的索引。如果某种失败以基本上相同的方式重复多次,那么最适当的反应可能是建立一个新结构来表示这种出现,并且在原来失败的事件被索引的地方来索引这个新结构。

当然还有其它索引方式。其中一种是由MOP的组成情景和角色项(role-filler)来对MOP结构进行索引。这种方法称为脚本激活问题,已由许多人讨论过<sup>[5,6,13]</sup>。

**2.2.2 期望集合** 当我们为“饭店”或某些其它脚本情况建立结构时,我们实际组合在一起的东西就是一系列因果相关的事件。发生的几乎每件事情都作为饭店MOP的一部分,这些都是一大类因果关系。

注意到所涉及的事件序列,像MOP这样的结构所做的事,就是给我们一个框架,根

据这个框架我们可以建立对出现的因果关系的一种理解。这不仅对于学会更好地处理特定情况是重要的，这是推论出这种因果关系的直接动机，而且对于学习一般的因果关系也是重要的。

**2.2.3 失败的解释** MOP或其它事件及情况的高级范畴的价值在于减轻了理解者的负担。通过存贮情况中的因果关系，提供以后的有关期望，这些范畴可以使理解者忽视情况的因果结构，直到需要这种知识为止。这基本上是自顶向下推理的优点的例子。

但当发生失败时，我们基本上是以一种自底向上的方式进行理解的。现在我们需要知道引起期望失败的客体或事件与MOP提供的事先组装好的因果结构的因果关系。

重要的是，我们实际上总在努力建立这种因果链，即解释失败，而不是仅把失败与失败了的期望存储在一起。这一点之所以必要有一些理由。

也许最重要的理由是，我们不必希望在失败的期望下建立失败的索引。特别是我们在进行规划时，我们确定引起失败的条件是很关键的。我们可以把期望的失败看作是“症状”，它也许是以前发生的一个没被认识到的失误造成的结果。在这种情况下，我们以这种方式对失败编索引，使那些条件重现，我们可以重获旧实例，避免再次重犯同样的失误。

与这种情况相反，特别是在规划环境中，同样重要的是，从失败中进行推理，这有助于预测以后在不断应用知识结构中出现的问题。

解释失败为我们做了以下事情：

- 可以找出索引一个失败的最早时刻；
- 可以把多个失败联系起来；
- 可以预测将来的失败；
- 可作为构成一个新结构的部分动机。

失败驱动记忆的概念提供了自底向上的因果推理和动机推理与自顶向下的MOP预测机制之间的关系。

总之，我们通过对学习课题的研究得到了这样的结论：下列问题极为重要。

1. 存在什么样的记忆结构，它们是在什么基础上进行组织的？
2. 什么样的特性是记忆结构的合理索引？
3. 由记忆结构提供的期望是如何表示的？
4. 有什么样的失败类型，其中每种类型是如何解释的？
5. 记忆结构有何类型变化，这些类型与可能发生的失败类型是如何相关的？

要开始有关学习课题的研究，我们必须建立一组合理的学习问题。回答这些问题是另一回事。我们已经较详细地回答了这些问题<sup>[12]</sup>。然而，只有在满足本文开始提出的四项要求的理论基础上，借助模型的程序设计经验，才可能得到完全的答案。

参考文献(略)

[张晓东 董稚明译自《Progress in Artificial Intelligence》，ed. Luc Steels & J. A. Compbell, 示 兀校]

(上接67页)

[13] Touretzky, D.S., Implicit Ordering of Defaults in Inheritance Systems, Proc. AAAI, 1984, PP.322-325.

[14] Touretzky, D.S., The Mathematics of Inheritance Systems, Morgan Kaufmann Publisher, Los Altos, CA, 1986.

[15] Touretzky, D.S., Horty, J.F., and

Thomason, R.H., A Clash of Intuitions: The Current State of Nonmonotonic Multiple Inheritance Systems, Proc. IJCAI, 1987, PP.476-482.

[16] Woods, W.A., What's in a Link?, in: Representation and Understanding, Academic Press, New York, 1975, PP.35-82.