

7-13

人工智能

行动推理

关于行动的推理

黄智生 Michael Masuch
(荷兰阿姆斯特丹大学)

TP18

摘 要
关于行动的推理是研究行动及其所带来的变化的规律的一个人工智能分支。近年来，关于行动的推理技术一直伴随着非单调推理等一系列相关领域的开展而发展，出现了一系列新的理论与方法。本文介绍关于行动的推理的基本问题、理论与方法。同时也介绍与其它相关领域的联系。

一、引言

人类的智能活动，常常伴随着对人类的行动及其结果的思考。人们通过这种对行动的思考来预测行动的可能结果，进而通过对行动的可能结果的分析与评价来决定是否真正地采取某种行动。因此，关于行动的推理也一直是人工智能研究所关注的重要领域。实际上，一个具有真正实用价值的智能机器人系统，应该具备这种关于行动的推理的能力。否则，机器人每次只能按照预先设定的程序不顾一切后果地机械地采取行动，而且每次只能简单地从行动的直接成功和失败的反馈中来调整自己的行为，而不能在每次行动之前，先考虑一下行动的可能后果再采取行动。

认知科学的研究结果表明，人类的关于行动的推理能力早在智力发展阶段的初期就已初步具备了，它是人类智能的重要组合部分。因此，在人工智能中，关于行动的推理研究也占有重要的位置。近年来，关于行动的推理技术一直伴随着其紧密相关的分支（包括非单调推理技术，信念修改理论与动态逻辑等）的发展而发展。出现了一系列新的理论与方法。但是，这方面的研究发展的一个显著特点是：每个新的理论和方法几乎总是由几个典型的问题所引发。因而，正确

地理解这些典型的问题及其困难所在，实际上就在一定程度上把握了这个领域的基本发展动向。

本文将简要地介绍关于行动的推理的一系列基本问题，它的理论与方法，以及与其它相关领域的联系与发展梗概。

二、关于行动的推理的基本问题

关于行动的推理技术的主要任务，可以大概归纳为：给定一个我们所处的环境的合适描述，以及一个我们所能采取的行动以及可能的结果的合适描述，我们怎样才能知道采取某种行动的实际结果将是什么？

这个问题表面上看来似乎很简单。但人工智能多年来的研究结果表明，人类离圆满地解决上述问题尚有一段距离。当然也有人认为关于行动的推理的一些问题本来并不构成问题，这也引发了一系列争论。限于篇幅，本文不作这方面的详述。

一般地讲，关于行动的推理技术主要面临着下列三个典型的困难或问题。它们是：框架问题，资格问题和结果问题。

1. 框架问题(The frame problem)

框架问题是许多人工智能研究者所知道的问题。它是指，我们很难给出一个合适的描述来刻画某个行动执行后哪些性质是没有被变化的。

设想我们正在给一个家务机器人编写智能程序，这个智能机器人只是在我们的住房里搬动家具。(值得一提的是，这个机器人搬家具的问题在许多关于行动的推理文献中多次出现)。把一台电视机从地上搬到书桌上。显然，地板的颜色不会变，电视的重量不会变，但电视的位置改变了。是否我们可以说只有电视的位置改变了，其它什么都不变。这显然不准确的。因为，如果电视上面放置着一本书，那么这本书的位置也改变了。但是，如果我们描述“除了电视及其在电视上方放置的所有物品的位置改变了，其它什么都没变”，这仍然是不合适的。当然，如果电视上方只有两、三本书的话，那也许不成问题。但是，如果电视是被压在一大堆书下面的话，可能会有一些书仍留在地板上。

值得注意的是，框架问题并不是要求人们对所有的行动以及所有可能的情形提供一个全面而准确的不变部分的描述。这是不必要的，也是不可能的。框架问题告诉我们的是，对一个非常具体的行动以及在一个具体而合适的应用范围内，我们仍很难提供一个合适的描述。下面其它两个问题也是类似的。

2. 资格问题(The qualification problem)

资格问题指的是，我们很难给出一个合适的描述来刻画为了使某个行动成功地被执行应该具备哪些前提条件。

我们仍然以机器人搬电视为例。要把电视成功地从地板上搬到书桌上，其前提条件至少应该是：电视不被压在特别重的物品底下，电视的重量在机器人的搬动能力范围之内，等等。这类前提条件在一个合适的应用范围之内也是非常多的。我们很难予以适当的描述。

3. 结果问题(The ramification problem)

结果问题指的是，我们很难给出一个合适的描述来刻画某个行动执行后所产生的结

果。读者同样可以以机器人搬电视为例，举出许多具体的结果，从而来理解其困难所在。当然，不难看出，上述三个问题相互之间具有很强的联系。

从某种意义上讲，上述三个问题是不可能被彻底解决的。但这并非表明我们只得向机器人穷举应用范围内的所有可能情况。关于行动的推理的根本任务，就是寻求一些统一的行动推理法则。这样我们就可以用一系列简单的法则来取代许多特殊情形的描述。在关于行动的推理技术中，一个重要的行动推理法则是：最小变化原则。

三、最小变化原则(The principle of minimal change)

关于行动的推理的最小变化原则说的是：任何行动的变化都必须是最小化的，也就是说，在所有可能的变化结果中，具有最小变化的那个结果才可视为实际的变化结果。

最小变化原则最早是在条件逻辑(Conditional logic)中被采用。条件逻辑是现代逻辑学的一个分支，是研究条件句(Conditional)的重要逻辑工具。在条件逻辑中，人们引入了最近可能世界(Closest possible world)的概念，它实际上就是最小变化原则在可能世界语义中的一种表达形式。在信念修改的理论中，人们也提出了最小变化原则，即要求修改必须满足最小化。在非单调推理的研究中，限界方法也要求在所有可能的模型中，寻找最小模型。这实际上也是最小变化原则的一种反映。

虽然最小变化原则已成为关于行动的推理研究中的一条公认的原则，然而，对于如何规定一个变化以及如何计算变化仍存在着不同的看法。所以，也存在着许多不同的理论和方法来实现这个原则。近年来，提出的主要理论和方法有：

1. Ginsberg和Smith的可能世界方法(1987年)

Ginsberg和Smith所提出的可能世界方

法(Possible Worlds Approach)的基本思想是,直接在一个逻辑句子集上面处理变化。

具体地讲,首先我们把所处的特定环境用一个逻辑句子集 S 来描述。对于一个行动 a ,我们知道它的一些基本结果,它通常可以用一个句子集 C 来表示。行动 a 在情况 S 上执行后的总的变化结果必是集合 $S \cup C$ 中的某个子集合。我们寻找 $S \cup C$ 中的某些满足最小变化的子集。这里最小变化的结果是指在集合包含关系 \subseteq 中的最大句子集。

对于任何一个问题,都有一个句子集,它们不受任何行动所影响。我们用 P 来表示不可能被改变的句子集,称之为被保护的句子集(Protected sentence set)。因此,给定一个描述实际情形的句子集 S ,一个被保护的句子集 P 和一个行动 a 的基本结果集 C 。行动 a 在情形 S 下被执行的一个结果被称为是一个可能世界,它是满足下列条件的一个句子集 T : 1) $T \subseteq S \cup C$; 2) $C \subseteq T$; 3) $P \cap S \subseteq T$; 4) T 是协调的; 5) T 是满足上述四个条件的所有句子集中最大的。

条件1)表明我们只在 $S \cup C$ 中寻找总的结果集 T ; 条件2)表明总的结果集 T 必须包含基本结果集; 条件3)要求被保护的句子集 P 仍然没有变化; 条件4)要求结果集 T 是协调的,即它不包含矛盾。条件5)要求结果集 T 应该满足最小变化原则。另外值得注意的是,这里所指的可能世界与逻辑学上通常所说的可能世界概念有所不同。实现这个可能世界方法的一个基本算法是,首先对 C 中的每个句子 $q \in C$ 构造它的否定式 $\neg q$ 的一系列证明。如果一个自动定理证明系统能够产生 n 个这样的证明,比如说,有 π_1, \dots, π_n ,而且这些证明分别使用了非被保护的句子集 S_1, \dots, S_n ,那么,要构造一个可能世界 T 而且使 T 协调,我们得使 $\neg q$ 在 T 中是不可证的。也就是说我们必须去掉 S_i 中的某些句子而使 $S \cup C$ 的某个子集 S' 协调。这样,要使 S' 协调,只要对每个 $i \in 1, \dots, n$,有 $(S - S') \cap S_i \neq \emptyset$ 。因此,在 S 上执行 C 的所有可能世界

都具有下列形式:

$S \cup C - \{s_1, \dots, s_n\}$ 这里 $s_i \in S_i, 1 \leq i \leq n$ 。

上述形式给这个可能世界方法提供了一个简便的计算行动结果的算法。在许多情形下,这个方法确实给人们提供了行动推理的正确结果。由于这个可能世界方法直接在逻辑句子集上处理变化,从而使计算算法简单,复杂度也比其它方法大大减少。但是,同时也招来了一些批评。主要的批评是说这个方法混淆了逻辑学上证明论与模型论之间的根本区别。一个世界的一个最小变化通常并不对应着这个世界的描述上的一个最小变化。使用这个方法的最突出的一个问题是,两个逻辑上等价的句子集在相同的一个行动下,可能会出现多个逻辑上不等价的结果。针对可能世界方法存在的这个问题, Winslett 提出了一个可能模型方法。

2. 可能模型方法(1986年)

可能模型方法(Possible Models Approach, 简称PMA)类似于可能世界方法(简称PWA),但其主要区别在于可能模型方法是在模型上处理变化。这里一个模型是指一个基本命题集合(primitive proposition set)。但可能模型方法也可以针对一阶谓词逻辑。因为,在许多具体应用领域,我们可以认为其域值(Domain)是有限的,而任何一个域值有限的一阶谓词逻辑总可以把它看作是一个命题逻辑。

这样,对于一个情形 S (它仍是一个逻辑句子集)和一个行动 a 的基本结果集 C ,我们考虑 S 的一个模型 M 与 C 的关系,我们用 $Incorporate(C, M)$ 来表示在模型 M 上执行 C 后的结果模型集合。

定义1 如果 M 是 S 的一个模型, C 是一个句子集, $Incorporate(C, M)$ 是满足下列条件的所有模型 M' 集合:

- (1) C 和 S 中被保护的句子集 P 在 M' 上为真;
- (2) M' 是满足上述条件的所有模型 M''

中最小变化的(也就是, $\forall M'' (M'' \models C \cup P \Rightarrow (M' \rightarrow M) \cup (M \rightarrow M') \subseteq (M'' \rightarrow M) \cup (M \rightarrow M''))$)。

这里两个模型 M_1 和 M_2 之间的一个变化, 是指存在着一个基本命题 α 使得 α 在 M_1 中而不在 M_2 中或者在 M_2 中而不在 M_1 中。因此, 两个模型 M_1 和 M_2 之间的变化总数就等于集合 $(M_1 \rightarrow M_2) \cup (M_2 \rightarrow M_1)$ 中的基本命题的个数。

在上述定义中, 我们只考虑 S 中的一个模型 M 。一个逻辑句子集可能对应着多个模型。因此, 在 S 上执行 C 的最后总的结果也应该考虑 S 的所有可能模型, 它是下列集合: $\bigcup_{M \in \text{Models}(S)} \text{Incorporate}(C, M)$ 。

可能模型方法克服了可能世界方法所存在的基本问题。它对于所有逻辑上等价的句子集都可以得出相同的结果。例如, 我们有两个逻辑句子集 $S_1 = \{p, p \rightarrow q\}$ 和 $S_2 = \{p, q\}$, S_1 和 S_2 在逻辑上是等价的, 因为它们有相同的一个模型 $M = \{p, q\}$, 如果基本结果集 C 是 $\{\neg q\}$ 。

对于可能世界方法, S_1 上执行 C 的结果有两个, 即 $\{p\}$ 和 $\{p \rightarrow q\}$, 而 S_2 上执行 C 的结果只有一个 $\{p\}$ 。

对于可能模型方法, S_1 和 S_2 具有相同的结果 $\text{Incorporate } C(\{\neg q\}, M) = [\{p, \neg q\}]$ 。

但是, 在一些特殊情形中, 可能模型方法仍然会得出一些非直觉的结果。下面我们用一个典型的例子来说明问题:

〔例一〕在一个房间里有一台电视(TV), 一个鸟笼(birdcage), 一本杂志(magazine)和一张报纸(newspaper)。房间的地板(floor)上有两个通气孔(duct)。当两个通气孔都被东西压住(blocked)时, 房间就会变得不透气(stuffy)。

这样, 一个情形描述句子集 S 由下面两个部分组成:

被保护的句子集 P :

- (A*) $\text{duct}(x) \rightarrow [x = \text{duct}1 \vee x = \text{duct}2]$
- (B*) $\text{location}(x) \rightarrow [\text{duct}1, \text{duct}2, \text{floor}]$
- (C*) $[\text{on}(x, y) \wedge \text{on}(x, z)] \rightarrow y = z$
- (D*) $[\text{on}(x, y) \wedge \text{on}(z, y)] \rightarrow [z = x \vee y = \text{floor}]$
- (E*) $[\text{duct}(d) \wedge \exists \text{ron}(x, d)] \rightarrow \text{blocked}(d)$
- (F*) $[\text{blocked}(\text{duct}1) \wedge \text{blocked}(\text{duct}2)] \rightarrow \text{stuffy}(\text{room})$
- (G*) $\text{on}(x, y) \rightarrow [\text{location}(y) \wedge \neg \text{location}(x)]$
- (H*) $\exists y \text{on}(x, y) \vee \text{location}(x)$

其中, (C*)表示一个物品一次只在一个位置。(D*)表示除了地板外, 一个位置只能放一件物品。(H*)说的是每个物品每次总占据某个位置。

S 中的非被保护的句子集描述了房间中物品的初始位置, 它们是:

- $\text{on}(\text{tv}, \text{duct}1)$
- $\text{on}(\text{birdcage}, \text{duct}2)$
- $\text{on}(\text{magazine}, \text{floor})$

即, 电视在1号通气孔上, 鸟笼在2号通气孔上, 杂志在地板上。行动“把电视搬到地板上”的基本结果 C 是: 电视在地板上, 即 $\text{on}(\text{tv}, \text{floor})$ 。

句子集 S 所对应的只有一个可能模型 M : $\{\text{on}(\text{tv}, \text{duct}1), \text{on}(\text{birdcage}, \text{duct}2), \text{on}(\text{magazine}, \text{floor}), \text{on}(\text{newspaper}, \text{floor}), \text{blocked}(\text{duct}1), \text{blocked}(\text{duct}2), \text{stuffy}(\text{room})\}$

但是, 对于 $\text{Incorporate}(C, M)$, 我们要考虑下列六个可能的结果模型。

$M_1 = \{\text{on}(\text{tv}, \text{floor}), \text{on}(\text{birdcage}, \text{duct}2), \text{on}(\text{magazine}, \text{floor}), \text{on}(\text{newspaper}, \text{floor}), \text{blocked}(\text{duct}2)\}$

$M_2 = \{\text{on}(\text{tv}, \text{floor}), \text{on}(\text{birdcage}, \text{duct}2), \text{on}(\text{magazine}, \text{floor}), \text{on}(\text{newspaper}, \text{duct}1), \text{blocked}(\text{duct}1), \text{blocked}(\text{duct}2), \text{stuffy}(\text{room})\}$

$M_3 = \{\text{on}(\text{tv}, \text{floor}), \text{on}(\text{birdcage}, \text{duct}2), \text{on}(\text{magazine}, \text{duct}1), \text{on}(\text{newspaper}, \text{floor}), \text{blocked}(\text{duct}1), \text{blocked}(\text{duct}2), \text{stuffy}(\text{room})\}$

$M_4 = \{\text{on}(\text{tv}, \text{floor}), \text{on}(\text{birdcage}, \text{duct}1), \text{on}(\text{magazine}, \text{duct}2), \text{on}(\text{newspaper}, \text{floor}), \text{blocked}(\text{duct}1), \text{blocked}(\text{duct}2), \text{stuffy}(\text{room})\}$

$M_5 = \{\text{on}(\text{tv}, \text{floor}), \text{on}(\text{birdcage}, \text{duct}1), \text{on}(\text{magazine}, \text{floor}), \text{on}(\text{newspaper}, \text{duct}2), \text{blocked}(\text{duct}1), \text{blocked}(\text{duct}2), \text{stuffy}(\text{room})\}$

$M_6 = \{on(tv, floor), on(birdcage, duct1), on(magazine, floor), on(newspaper, floor), blocked(duct1)\}$

对于模型 M_1 ，我们认为它是直观的，因为在这个情形下，把电视搬到地板上，只有电视的位置变化了，而且房间变得通风了。其它什么都没变。可见，根据可能模型方法，模型 M_2 和 M_3 也是可能的结果，因为这三个模型与原来的模型 M 的变化数量都是4，即它们都是满足最小变化的模型。可是，模型 M_2 说的是把电视搬到地板上后，报纸会跑到通气孔上去。模型 M_3 说的是杂志会跑到通气孔上去。这显然是不太自然的。

产生上述问题的原因，具体地说是在所有可能模型中，我们把stuffy(room)也作为基本命题参与计算变化的个数。把电视搬到地板上去使得原来的stuffy(room)变成它的否定式，多产生了一个基本变化。而让报纸跑到通气孔上仍会使stuffy(room)成立，从而少了一个基本变化。因而，模型 M_1 与模型 M_2 的变化数量是一样的，但是，在我们的直觉里，位置的变化才是实质性的变化，而关于stuffy(room)的变化是为了使结果模型与被保护的句子集 P 保持协调性而带来的变化。显然这两种变化在性质上是不一样的。因此，我们认为，解决可能模型方法所存在着的问题的一个途径是，引入直接变化和间接变化的概念。当我们计算最小变化时我们只考虑直接变化的数量，其次才去考虑间接变化的数量。Winslett也指出，解决该方法所存在的问题的一个可能途径是，引入基本命题上的一个优先级，即给每个基本命题赋予一个权重，并用它来计算实际的变化数量。但如何依照一个法则来规定这样一个优先级，仍然是一个尚未解决的问题。

3. Jackson的世界格方法(1989年)

Jackson提出一个世界格方法(World Lattice Approach)，它可以提供一个更为方便地计算两个可能世界之间的距离的方法。在这个世界格方法中，一个可能世界 w 被表示成为一个基本命题的集合 $\{\psi_1, \dots, \psi_n\}$ 。而且定义：一个可能世界 w 满足基本命题 ψ ，(记为 $w \models \psi$)，当且仅当 $\psi \in w$ ，而且，如果 $\psi \notin w$ ，那么 $w \models \neg\psi$ 。

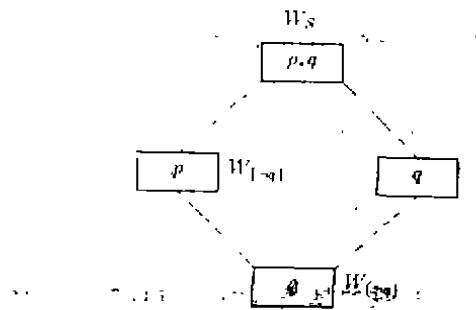
如果我们所考虑的有限的基本命题集合为 A ，那么 $2^{|A|}$ 就对应着一个所有可能世界的集合 W 。一个逻辑句子集 S (又称为一个理

论)描述了一个情形(Situation)，它可表示为 $W_S \subseteq 2^W$ ，而 $W_S \subseteq W$ 就是一个所有满足理论 S 的可能世界集合。

如果现在的情形为 W_S ，行动的基本结果为 ψ ，而被保护的句子集为 S^* ，那么，在现有情形 W_S 上执行行动 ψ 的结果情形应是 $\psi(S) \subseteq W_{\{\psi\}} \cap W_{S^*}$ ，这里，我们把命题 ψ 看作作为一个函数 $\psi: 2^W \rightarrow 2^W$ 。

现在，我们可以具体地构造函数 $\psi(S)$ 。如果 S 逻辑蕴含 ψ ，那么不需要改变 W_S ，即 $\psi(S) = W_S$ 。如果 ψ 与 S 是协调的，但并不是逻辑结论，我们就令 $\psi(S) = W_{\{\psi\}} \cap W_S$ 。最后，如果 ψ 与 S 是不协调的，那么情况就比较复杂。我们就得采用一个最小修改策略，使得 $\psi(S) \subseteq W_{\{\psi\}} \cap W_{S^*}$ 。

我们可以构造一个修改函数 $\rho: 2^W \times 2^W \rightarrow 2^W$ 使得 $\rho(W_{\{\psi\}}, W_S) \subseteq W_{\{\psi\}} \cap W_{S^*}$ 成立。实现这个方法的一个策略是构造一个世界格 $\Lambda_S = (2^A, \subseteq)$ 。一个只涉及基本命题 p 和 q 的世界格如下图所示：



这样，如果 $S = \{p, p \rightarrow q\}$ ，基本结果集 $C = \{\neg q\}$ ，而 $S^* = \emptyset$ 的话，我们有：

$$W_S = \{\{p, p\}\}, \text{ 和 } W_{\{\neg q\}} = \{\emptyset, \{p\}\}$$

$$\text{所以, } \neg q(S) = \rho(\{\emptyset, \{p\}\}, \{\{p, p\}\}) = \{\{p\}\}$$

世界格方法的一个不足之处是，当基本命题集 A 变得比较大时，所对应的世界格就会变得很复杂，而难以计算。

四、与其它相关领域的联系

如上所述，关于行动的推理技术与非单调推理技术和信念修改的理论与方法具有很

强的联系。许多具体的信念修改方法可以直接应用到关于行动的推理技术上去。计算在一个具体情形S下执行行动C的结果十分类似于计算在一个信念集S下修改命题C,即 S^*C 。但是,近年来,有人指出^[1],知识库的修改与知识库的更新是两个不同的概念。关于行动结果的计算实际上是一种更新运算而不是一个修改运算。更新运算也有它所对应的AGM假设。限于篇幅,作者不作这方面的详述。对于信念修改操作,读者可参见文献[1]。对于更新操作,读者可参见文献[6]。

除此之外,关于行动的推理技术还与下列诸多领域具有很强的联系:

1.关于行动和时间的推理 (Reasoning about action and time)

采取一个行动实际上离不开时间。因此,关于行动和时间的推理更确切地说只是关于行动的推理技术的一个分支。在行动中引入时间的概念,使得我们很方便地描述许多具体的行动。但是,引入时间后也使我们关于行动的推理变得更加复杂。著名的耶鲁开枪问题 (Yale shooting problem) 是关于行动和时间的推理方面一个广为流传的典型问题。由它而引发的一系列相应的问题使得关于行动和时间的推理成为近两年来理论人工智能方面令人感兴趣而迅速发展的分支之一。

2.关于理性的推理 (Reasoning about rationality)

读者可能已经注意到了,上面我们所说的关于行动的推理实际上只是一个关于变化的推理 (Reasoning about change),因为它只关注到行动的变化了的计算。可是,在实际生活中,我们通常所说的行动是指具有智能的理性行动。关于理性的推理关注的是在一个特定环境下,应该采取何种行动才是理性的,它涉及到行动者的目标和所具有的知识信念等一系列概念。它在分布式人工智能中具有相当吸引人的应用前景。

3.动态逻辑 (Dynamic logic)

动态逻辑是研究计算机程序的执行及其动态特征的重要工具。实际上,一个计算机程序也可以看成是一个行动。因此,动态逻辑中的许多简洁而优美的程序序列组合表达形式也被一些行动逻辑所采用。许多动态逻辑的形式特征在行动逻辑中仍是适用的。但是,由于动态逻辑关注的仅是计算机程序的执行,而行动逻辑关注的是一般意义上的行动。前者仅是后者的一种特殊情况。动态逻辑的研究仍不能取代行动逻辑的研究。

五、结束语

关于行动的推理是人类智能的重要组成部分。因此,关于行动的推理的研究一直是人工智能的重要研究课题之一。关于行动的推理由于其所面临的一系列基本问题而使它的研究更富有挑战性。Ginsberg和Smith的可能世界方法由于其简单的计算方法而引人注目,但由于其混淆了证明论和模型论的区别而受到批评。Winslett的可能模型方法克服了可能世界方法所存在的一些问题,但在一些特殊情况下仍会出现一些非直觉的结果。Jackson的世界格方法采用了信念修改的一系列方法,使之更具有直观性,但计算方法仍是比较复杂。人们期待着一些更令人满意的关于行动的推理技术的出现。

参考文献

- [1] 黄智生,信念修改的理论与方法,计算机科学,1991年第六期
- [2] M.L. Ginsberg and D.E. Smith, Reasoning about Action I: A possible worlds approach, in Readings in Nonmonotonic Reasoning, M. Ginsberg, ed., Morgan Kaufmann, Los Altos, 1987
- [3] Harel David, Dynamic Logic, in: D. Gabbay and F. Guenther (eds.), Handbook of philosophical logic, vol. 11, 497-604 (D. Reidel publishing company), 1984
- [4] Huang, Zhisheng, and Michael, Masuch, Reasoning about action, a comparative survey, CCSOM 91-37, University of

并行计算机

并行计算模型

分类

13-17,55

并行计算模型的分类和评价*

倪德明 黄林鹏 孙永强

(上海交通大学计算机系 上海200030)

TP338.6

摘 要

随着各种并行计算机体系结构的出现及并行计算在各学科领域中的广泛应用,需要并行计算模型用以研究并行计算性质,分析并行算法,简化并行软件设计。本文对并行计算模型给出一个评价准则,并以此对现有的并行计算模型进行分类和比较。

1. 引论

在并行计算机上进行程序设计,突破了人为的顺序约束,能有效地提高程序执行的效率,更自然地表达和处理所处理问题中固有的并行性,但相应地也带来了很多问题:程序的可移植性差,难以准确地进行算法评估,以及用户表达求解问题的复杂化。

我们知道,基于冯·诺依曼机的计算模型的研究不仅为顺序计算的探讨打下了基础,而且为并行计算的研究也提供了一个合适的理论和实用框架。

迄今已有很多种并行计算模型,本文拟对一些现存的模型作一个理论上的分类和比较,并针对并行计算所产生的问题,对每一个讨论的并行计算模型,将考虑以下一些因素:

体系结构独立性。 现存的大部分并行软

件基于特定的体系结构或特定的机器,同时新的并行机仍在不断的发展中,软件的可移植性差,在软件生存期内,不能利用新的体系结构的优点。基于一般并行计算模型的软件能够不需要完全重建地在不同的体系结构上实现,因此,独立于体系结构与否是并行计算模型的一个重要的评价标准。

一致性。 基于模型的效率分析应当与实际计算中的效率相一致。特别地,应当能够对并行算法的优劣作出效率上的评判。一致性要求的困难在于哪一层次的效率可以在模型的层次上体现出来。由于实现中必须处理不同的存储器访问延迟及通讯延迟,因此完全的一致是不可能的,除非是跟特定的机器结构非常接近的模型。合理的效率衡量标准应当是计算所需的总时间,即处理器数与执行时间的积,同时忽略执行中对每个程序基

<p>Amsterdam, 1991</p> <p>[5] Peter Jackson, On the semantics of counterfactuals, proceedings of IJCAI-89, Detroit, Michigan, USA, 1989</p> <p>[6] Hirofumi Katsuno, Albert Mendelson, On the difference between updating a knowledge base and revising it, in: Proceedings of the second internal con-</p>	<p>ference in principles of knowledge representation and reasoning, James Allen, et al., eds., 1991</p> <p>[7] Winslett, Marianne, Reasoning about action using a possible models approach, in: Proceedings of AAAI-88, 89-93, St. Paul, minnesota, 1988</p>
---	--

倪德明 博士生, 黄林鹏 博士, 孙永强 教授, 博士生导师。*) 上海交通大学青年发展基金资助课题。