

信念修正的实现方法^{*}

栾尚敏 戴国忠

(中国科学院软件研究所 北京100080)

摘要 本文对信念修正的典型方法,如基于语法结构的方法,基于模型测试方法,修正理论,修正理论基础,重复方法等用我们的算法来实现,并且完成了其相关工作。

关键词 信念,修正,算法

The Implementing Method for Belief Revision

LUAN Shang-Min DAI Guo-Zhong

(Institute of Software, CAS, Beijing 100080)

Abstract In this paper, the typical methods for belief revision, such as the syntax-based approach, model-based approach, the revision of a theory, the revision of a theory base, iterated approach etc., are implemented by the algorithm we introduced. And the related works are compared with our work.

Keywords Belief revision, Algorithm

信念修正是人工智能领域的一个研究热点,人们在这个领域已经取得了一些结果。真值维护系统^[1]是第一个与信念修正有关的系统;Kleer^[2]分析了该系统效率低下的原因,给出了基于假设的真值维护系统。基于公式的方法^[3,4]讨论了信念集是逻辑语句集时的信念修正过程。基于模型的方法^[5~10]讨论了信念集为命题逻辑语句集时的修正方法。“理论修改逻辑”的方法^[1]将信念集定义为一个理论闭包,给出了修正和约减的合理公设,以及满足这些公设的修正方法,这些方法有极大协调子集修正^[11],部分交集修正^[11],全部交集修正^[11],安全修正^[12],可能环境系统^[12]和基于认识牢固度的修正^[13]等。基于模型的修正方法也满足部分公设^[14]。将信念集限制为理论基,人们^[15~20]给出了和“理论修改逻辑”类似的结果。迭代的方法^[21]研究信念集是形式理论的情况时进行多次修正的性质和方法,并给出了可以归约出极大选择修正的演绎方法,称为R-演算^[22];另外还有基于顺序条件函数的修正^[23]和自然修正^[24]等。人们对信念修正在计算机上的可实现性也进行了研究。Dixon^[25,26]对有限理论基上的基于认识牢固度修正^[20]的可实现性进行了研究,^[27]还进一步讨论了一阶逻辑上修正的实现方法,给出了修正的原型系统;Williams^[28]采用的策略是,在没有必要对一个信念的牢固度进行修改之前,该信念在系统中的牢固度保持不变;而文^[29]讨论了扩充逻辑程序设计中的知识库修正问题。对于信念修正的研究,不仅具有理论意义,也有着广泛的应用前景,例如可以应用到基于知识的用户界面设计中^[30]。

当信念 A 加入到信念集 Γ 中时,若 A 和 Γ 不协调,则上述很多方法都用到极大协调子集来得到修正后的信念集,但都没有讨论如何得到 Γ 的和 A 极大协调的子集。本文将信念集限制为有限的子句集,信念限制为子句,我们在文^[31]中给出了一个求所有极大协调子集的过程,在文^[32]中给出了极小不协调子集的过程,本文主要讨论如何由上述过程来实现

各种典型的信念修正方法,这些方法已经在文^[33]中进行了介绍。关于数理逻辑方面的知识和记号,请参考文^[34]。

1 AGM 方法的实现

通过文^[33]中的介绍可以看到 AGM 的方法将信念修正分为约减、修正和扩展,给出了这些操作应满足的条件。还给出了一些满足这些条件的信念修正方法。这些修正方法都存在一个问题,那就是如何得到极大协调的子集。

AGM 的最大协调子集的方法就是在所有极大协调子集中任意选择一个与要插入的语句 A 形成一个集合,然后再求该集合的闭包。在他们给出的最大协调子集的方法、部分交集的方法、全部交集的方法中,他们是在假设所有极大协调子集的集合是已求得的情况下进行的,而如何求得所有极大协调子集的集合,他们并没有给出一种构造性的方法。在第3节我们已经给出了如何求得极大协调的子集的方法,所以只要在前面所述的完全性过程的后面增加一些内容就会得到 AGM 给出的方法。例如,如果在^[31]完全性过程的后面增加如下的一步:

从所有极大协调的子集中任意选择一个元素 Γ_1 ,然后再求集合 $\Gamma_1 \cup \{A\}$ 的闭包。

则就得到了 AGM 最大协调子集的方法。如果上面的这一步如下:

从所有极大协调的子集的集合中,根据一定的原则要求,选择一组极大协调的子集 $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$,然后再求集合 $(\Gamma_1 \cap \Gamma_2 \cap \dots \cap \Gamma_n) \cup \{A\}$ 的闭包。

则就得到 AGM 部分交集的方法。同样地,如果有如下的步骤:

对于所有极大协调的子集的集合 S ,求集合 $(\cap S) \cup \{A\}$ 的闭包。这里 $\cap S$ 的意义是:若 $S = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n\}$,则 $\cap S = (\Gamma_1 \cap \Gamma_2 \cap \dots \cap \Gamma_n)$,则得到 AGM 全部交集的方法。

^{*} 本文得到国家重大基础研究计划(973)(2002CB312103),国家自然科学基金重点项目(60033020)、国家自然科学基金重大国际合作项目(60310213)、国家自然科学基金杰出青年项目(60325206),国家高技术发展研究计划(863)(2001AA114170)资助。

由上面的结果可以看到,因为极大协调的子集可能不唯一,这样对于极大约减的方法和部分交集的方法应该选择哪个或哪些子集的问题带来了问题,所以 AGM 提出了基于认识牢固度的方法。Gärdenfors 和 Makinson^[13]在讨论信念修正时,引入了认识牢固度(epistemic entrenchment)的方法来解决极大协调的子集不唯一的问题,删除那些引起矛盾来的认识牢固度小的信念而得到的那个子集就是我们所要寻找的集合。前面我们已经指出过,人们对这种方法已经给出了其应该满足的公设及一些修正方法,但这些方法都很难实现。根据认识牢固度定义的修正为 $B \in \Gamma_A$ 当且仅当 $B \in \Gamma$, 且 $\vdash \rightarrow A$ 成立,或 $\neg A \leq_e A \rightarrow B$ 。如何由 A 和 B 的可信度来求得 $A \rightarrow B$ 的认识牢固度,如果该问题不解决也就很难确定在发生矛盾时该删除那些公式了。下面我们给出一种根据认识牢固度的修正的方法,并且讨论该修正的一些性质。

首先讨论如何用文[31,32]中的过程来实现认识牢固度的方法。在基于极小不协调子集的方法中,在求得所有极小不协调子集后,我们可以如下删除原语句集中的语:找出所有极小不协调的语句集中的认识牢固度最小的语句,将它从原语句集中删除,并且将所有包含该语句的极小不协调的子集删除,这样对剩余的极小不协调的子集再按照上面的方法进行处理,直到将所有极小不协调的子集处理完,则就得到了我们想要的那个极大协调的子集 Γ_1 。然后求出 $\Gamma_1 \cup \{A\}$ 的闭包就得到最终结果。用 $REE(\Gamma, A, <)$ 表示该过程,后面讨论迭代修正时会用到它。

如果引起矛盾的语句的认识牢固度相同,也就是说在极小不协调的语句集中可能存在两个认识牢固度相同的语句,则从它们中删除任何一个都可能得到极大协调的语句集。例如,设 $\Gamma = \{A \vee B, \neg B\}$, $\Delta = \{\neg A\}$ 。假设语句 $A \vee B$ 和 $\neg B$ 的认识牢固度相同,则在将 $\neg A$ 加入到集合 Γ 中时就会引起矛盾,这样就要从 Γ 中删除一些语句,这时极小不协调的子集为 $\{A \vee B, \neg B\} \cup \{\neg A\}$, 因为 $A \vee B$ 和 $\neg B$ 的认识牢固度相同,所以删除 $A \vee B$ 或 $\neg B$ 中之一就可以了,这样我们仍然得到了两个子集。但是通过认识牢固度的方法还是能减少极大协调子集的范围的。事实上,信念的认识牢固度确定了信念集上的一种序关系 $<$, 对于任意的语句 $A, B \in \Gamma$, $A < B$ 成立当且仅当 A 的认识牢固度比 B 的认识牢固度小。这样,当信念集发生矛盾时,需要删除那些引起矛盾的语句中的认识牢固度最小的语句,就相于在引起矛盾的语句中选择一个语句,该语句关于序关系 $<$ 为极小元,将它删除。所以下面我们用信念集上的序关系来代替信念集上的认识牢固度。信念集上的这种认识牢固度也就定义了信念集上的一种序关系,根据这种序关系的不同,则会得到不同的结果。在下面的讨论中,用 $<$ 表示集合 Γ 上的序关系。

定义 1.1 (极大协调语句集间的关系 ∞) 设 $<$ 是集合 Γ 上的序关系, Δ 为一语句集, Γ 和 Δ 协调的极大协调的子集的集合为 $S = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n\}$, $\Gamma' = \Gamma_1 \cap \Gamma_2 \cap \dots \cap \Gamma_n$, $\Gamma_1, \Gamma_2 \in S$, $\Gamma_1 \infty \Gamma_2$ 成立当且仅当对于任意的 $A \in (\Gamma_1 - \Gamma')$, 都存在 $B \in (\Gamma_2 - \Gamma')$, 使得 $B < A$ 成立。根据这里的定义,有如下结论:

性质 1.1 如果 Γ 的集合上的关系 $<$ 是一个全序关系且有极小值,则存在 $\Gamma_1 \in M$, 对任意的 $\Gamma_2 \in M$, $\Gamma_1 \neq \Gamma_2$, 有 $\Gamma_1 \infty \Gamma_2$ 成立。

证明: 如下构造 Γ 的子集: 设 S 是所有极小不协调的子集的集合, 令 $\Gamma' = \bigcup S$, 找出 Γ' 中的极小元, 将它从语句集 Γ 中删除, 并且将所有包含该语句的极小不协调的子集从 S 中

删除; 对剩余的极小不协调的子集再按照上面的方法进行处理, 直到 S 为空集得到 Γ 的子集 Γ_1 。显然 Γ_1 是关于 Δ 协调的, 并且是极大的。下面证明对于任意的 $\Gamma_2 \in M$, 若 $\Gamma_2 \neq \Gamma_1$, 则 $\Gamma_1 \infty \Gamma_2$ 成立。假设 $\Gamma - \Gamma_1 = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$, 并且 $A_1, A_2, \dots, A_k$ 间的序关系为 $A_1 < A_2 < \dots < A_k$, Γ 上的关系 $<$ 的 Hasse 图如图 1。Hasse 图中, 在 A_i 和 A_{i+1} 间的其它语句 B , 要么不在任何一个极小不协调的子集中, 要么它所处的极小不协调的集合中包含 $A_1, \dots, A_i$ 中的某些语句, 否则, 按照上面的过程在删除 A_i 之后, 下面一个要删除的语句是 B , 而不是 A_{i+1} , 这就产生了矛盾。所以, 对于任意的一个和 Δ 协调的 Γ 的极大协调子集 Γ_2 , B 和 $A_1, A_2, \dots, A_k$ 不可能同时被删除。这样就有, 对于任意的 $A \in \Gamma_1 - \Gamma'$, 都存在 $B \in \Gamma_2 - \Gamma'$, 使得 $B < A$ 成立, 所以 $\Gamma_1 \infty \Gamma_2$ 成立。结论得证。

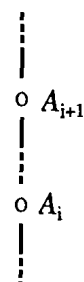


图 1

推论 1.1 如果有限集合 Γ 上的关系 $<$ 是一个良序关系, 则存在 $\Gamma_1 \in M$, 对任意的 $\Gamma_2 \in M$, $\Gamma_1 \neq \Gamma_2$, 有 $\Gamma_1 \infty \Gamma_2$ 成立。

证明: 因为良基关系是全序关系, 并且对任意的一个子集都有极小值, 再由性质 1.1 可知其成立。

推论 1.2 如果有限集合 Γ 上的关系 ∞ 是一个全序关系, 则存在 $\Gamma_1 \in M$, 对任意的 $\Gamma_2 \in M$, $\Gamma_1 \neq \Gamma_2$, 有 $\Gamma_1 \infty \Gamma_2$ 成立。

证明: 因为有限集合上的全序关系是良基关系, 由推论 2.1 可知其成立。

定义 1.2 (基于关系 ∞ 的极大协调子集) 设 ∞ 是公式集合 Γ 上的关系, 在极大协调的子集组成的集合中满足如下条件的极大协调子集 Γ_1 称为基于关系 ∞ 的极大协调子集: 对于任意一个与 Γ_1 不相同的极大协调子集 Γ_2 , 都有 $\Gamma_1 \infty \Gamma_2$ 。

对于任意一个关于 ∞ 的极大协调子集, 有如下的结论。

性质 1.2 任意一个关于 ∞ 的极大协调子集都是一个极大协调子集。

证明: 由定义可知该结论成立。

对于部分交集的方法, 可以如下定义选择函数 $f: f(M) = \{\Gamma_1 \mid \Gamma_1 \in M, \text{并且对于任意的 } \Gamma_2 \in M, \text{若 } \Gamma_1 \neq \Gamma_2, \text{则 } \Gamma_1 \infty \Gamma_2\}$

例子 1.1 设 $\Gamma = \{A, A \supset B, B \supset C, E \supset F\}$, 并且假设 Γ 上的全序关系 $<$ 将 Γ 中的语句排序为 $A < (A \supset B) < (B \supset C) < (E \supset F)$ 。这时再向 Γ 中增加公式 $\neg C$, 则就会导致矛盾。这时有三个与 $\neg C$ 协调的 Γ 的子集, 但通过选择函数只得到了一个与 $\neg C$ 协调的 Γ 的极大协调的子集 $\{A \supset B, B \supset C, E \supset F\}$ 。根据文[11]的结果, 显然有下面的性质:

性质 1.3 上面所定义的选择函数 f 的部分选择修正满足 AGM 的公设 $(\Gamma * 1) - (\Gamma * 3)$ 。

2 基于理论基以及基于模型的方法的实现

文[31,32]中的过程同样也可以实现基于理论基的方法。

首先讨论它和 Fuhrmann 的方法之间的关系。这种方法的基本思想是:首先给出了必需集(entailment set)的定义。事实上集合 Γ 的一个子集 Γ_1 是 A 的一个必需集,也就是说 Γ_1 是一个能推出结论 A 的最小的语句集。所有这样的语句集记为 $E(\Gamma, A)$ 。Fuhrmann 并没有讨论如何求得该集合,文[32]中的过程能求得集合 $E(\Gamma, A)$ 。

同样的关于 Hansson 的方法,根据其定义: $D_n = \bigvee \Gamma_n^-; E_1 = D_1; E_{n+1} = E_n \cup (D_{n+1} - C_n(E_n)); \Gamma_n^{\mathcal{A}} = \bigcup_i E_i; \Gamma_n^+ = \Gamma_n^{\mathcal{A}} \cup \{A\}$ 。在这种方法中多次用到了全部交集约减的操作“ $-$ ”,根据上一节的讨论我们知道信念修正的方法为全部交集约减提供了一种可实现的方法,由此可知,文[31,32]中的过程同样也为 Hansson 的方法提供了一种可实现的途径。

通过文[31]中的完全方法可以得到所有极大协调子集的集合 M ,这样可以定义一个选择函数 f ,通过 f 可以得到基于模型的方法求得的极大协调的语句集。事实上,基于模型的修正方法所得到的所有极大协调子集是 M 的一个子集。

首先通过一个例子来说明基于模型的方法存在的问题。

例子2.1 设 $\Gamma = \{A_1 \vee A, A_1 \vee \neg A, A_1 \vee B, A_1 \vee C, A_1 \vee D\}$ 。若再向 Γ 中增加语句 $\neg A_1$ 就会产生矛盾,根据 Dalal 的定义可知模型 $\{\} \in \text{Mod}(\Gamma *_{\mathcal{D}}(\neg A_1))$,此时得到集合 $\{A_1 \vee \neg A\}$,显然 $\{A_1 \vee \neg A\}$ 不是极大的,这样就丢失了 Γ 中的很多信息。

通过上面的讨论应该看到,基于模型的方法得到的语句集不一定是极大的;那么 M 中的任何一个元素都在 $\Gamma *_{\mathcal{D}} A$ 中吗?通过下面的例子就可以得到这个问题的答案了。

例子2.2 设 $\Gamma = \{A \vee B, A \vee \neg B, \neg A \vee B\}$,当再向 Γ 中增加 $\neg A \vee \neg B$ 时,就产生了矛盾, Γ 的与 $\neg A \vee \neg B$ 协调的子集有 $\{A \vee B, \neg A \vee B\}, \{A \vee B, \neg A \vee \neg B\}$ 和 $\{A \vee B, A \vee \neg B\}$ 。 $\text{Mod}(\Gamma) = \{\{A, B\}\}; \text{Mod}(\neg A \vee \neg B) = \{\{A\}, \{B\}, \{\}\}$ 。显然有 $\mu(\Gamma, \neg A \vee \neg B) = 1$,所以 $\text{Mod}(\Gamma, \neg A \vee \neg B) = \{\{A\}, \{B\}\}$ 。所以 $\{A \vee B, \neg A \vee B, \neg A \vee \neg B\}$ 和 $\{A \vee B, A \vee \neg B, \neg A \vee \neg B\}$ 属于 $\Gamma *_{\mathcal{D}}(\neg A \vee \neg B)$ 。而 $\{A \vee B, \neg A \vee B, \neg A \vee \neg B\}$ 就不属于 $\Gamma *_{\mathcal{D}}(\neg A \vee \neg B)$ 。

所以存在 $\Gamma *_{\mathcal{C}} A$ 中的某些元素不属于 $\Gamma *_{\mathcal{D}} A$ 。由此可以得到 $\Gamma *_{\mathcal{C}} A$ 和 $\Gamma *_{\mathcal{D}} A$ 之间的关系是互不包含的。关于 $*_{\mathcal{D}}, *_{\mathcal{S}}, *_{\mathcal{B}}, *_{\mathcal{F}}, *_{\text{win}}$ 之间的关系,我们有如下的定理:

定理2.1 设 Γ 是一协调的子句集, A 是一子句, $*_{\mathcal{D}}, *_{\mathcal{S}}, *_{\mathcal{F}}, *_{\text{win}}$ 是等价的。

证明:首先证明任意的 $M \in \text{Mod}(\Gamma *_{\mathcal{D}} A)$,有 $M \in \text{Mod}(\Gamma *_{\mathcal{S}} A)$ 成立。由 Γ 是子句集和 A 是子句可知 $\mu(\Gamma, A) = 1$ 和 $\mu(\Gamma, A) = V(A)$ 。所以对于任何一个 $M \in \text{Mod}(\Gamma *_{\mathcal{D}} A)$, M 是由 Γ 的一个模型改变 $V(A)$ 中某变元的值得到的,所以存在 Γ 的一个模型 M' ,使得 $M - M' \in V(A)$ 中的一个变元,所以 $M \in \text{Mod}(\Gamma *_{\mathcal{S}} A)$ 成立。类似地,我们可以证明 $*_{\mathcal{S}} \rightarrow *_{\mathcal{F}} \rightarrow *_{\text{win}} \rightarrow *_{\mathcal{D}}$ 。由此结论得证。

由例2.1可知,对于基于模型的方法,有的情况可能得到的语句集和原来的语句集的信息相差很大,如何解决这些问题呢?可以如下定义基于模型的方法,就能消除这一问题。这些方法定义如下:

修改的 Dalal 方法: $\Gamma *_{\mathcal{B}} A = M \cap (\Gamma *_{\mathcal{D}} A)$

修改的 Satoh 方法: $\Gamma *_{\mathcal{A}} A = M \cap (\Gamma *_{\mathcal{S}} A)$

修改的 Borgida 方法: $\Gamma *_{\mathcal{B}} A = M \cap (\Gamma *_{\mathcal{B}} A)$

修改的 Weber 方法: $\Gamma *_{\text{web}} A = M \cap (\Gamma *_{\text{web}} A)$

修改的 Forbus 方法: $\Gamma *_{\mathcal{F}} A = M \cap (\Gamma *_{\mathcal{F}} A)$

修改的 Winslett 方法: $\Gamma *_{\text{win}} A = M \cap (\Gamma *_{\text{win}} A)$

定理2.2 对于 $* \in \{*_D, *_S, *_B, *_F, *_W, *_W, *_W\}$ 和 $*^0 \in \{*_B^0, *_S^0, *_B^0, *_W^0, *_F^0, *_W^0\}$,若 $*$ 和 $*^0$ 是相对应的,则 $\Gamma *^0 A \subset \Gamma * A$ 。 $*$ 和 $*^0$ 是相对应是指,若 $*$ 为 $*_x$,则 $*^0$ 为 $*_x^0$,反之亦然,这里 $x \in \{D, S, B, F, W\}$ 。

证明:根据定义显然成立。

3 迭代修正的实现

目前,迭代的方法主要是基于认识牢固度方法的,这里进一步地讨论如何通过文[31,32]中的过程来实现迭代的方法。这里设 π 为修正序列 $A_1, A_2, \dots, A_n$,并且 $\text{REE}(\Gamma, A, <)$ 是本文第一节所给出的过程,则修正过程如下:找出所有极小不协调的语句集中的认识牢固度最小的语句,将它从 Γ 中删除,并且将所有包含该语句的极小不协调的子集删除,这样对剩余的极小不协调的子集再按照上面的方法进行处理,直到将所有极小不协调的子集处理完,则就得到了我们想要的那个极大协调的子集 Γ_1 。这里 Γ 是语句的集合, A 是一语句, $<$ 是语句集 Γ 上的序关系,这里假设 $<$ 为一良序关系,则序列 π 的修正过程为:

```

Procedure RS( $\pi$ )
  while( $\pi$  非空)do
    begin
       $A = \text{read}(\pi)$ ;
       $\pi = \text{del}(\pi)$ ;
       $\Gamma = \text{REE}(\Gamma, A, <)$ ;
       $\Gamma = \Gamma \cup \{A\}$ ;
    end(while)
  end(procedure)

```

通过分析文[31,32]中的方法和 TMS 系统的执行过程就可以发现它们的不同点。TMS 系统中,我们向系统中增加的是一个信念的理由,这个理由在演绎推理系统中就是推出该信念的过程中所必需的信念的集合。例如语句 B ,要相信语句 B 成立,就必须存在这样的一个语句集,通过该语句集能推出 B 成立,这个语句集是由用户或问题求解器给出的,而不是由系统自己发现的。文[31,32]中的方法就是在信念修正的过程中找出这样的集合来,也就是找出引起矛盾的集合来,而不是由用户或问题求解器给出。

结束语 本文讨论了如何用我们在文[31,32]中给出的求极大协调子集和极小不协调子集的过程来实现信念修正的典型方法。我们在文[31,32]中给出的过程是可以编程实现的,从本文这些结果可以看到我们给出的过程为信念修正提供了一种可实现的途径。

参考文献

- Doyle J. A truth maintenance system. Artificial Intelligence, 1979, 12(3): 231~272
- Kleer J D. An assumption-based TMS. Artificial Intelligence, 1986, 28(2): 127~162
- Fagin R, Ullman J D, Vardi M Y. On the semantics of updates in databases. In: DeWitt DJ, Gardarin, G., eds. Proc. of the 2nd ACM SIGACT-SIGMOD Symposium on Principle of Database Systems. New York: ACM Press, 1983. 352~365
- Ginsberg M L, Smith D E. Reasoning about action I: a possible worlds approach. Artificial Intelligence, 1988, 35(2): 165~195
- Dalal M. Investigations into a theory of knowledge base revision: preliminary report. In: Mitchell TM, Smith RG, eds. Proc. of the 7th National Conf. on Artificial Intelligence. California: AAAAI Press, 1988. 475~479
- Satoh K. Nonmonotonic reasoning by minimal belief revision. In: ICOT, ed. Proc. of Intl. Conf. on 5th Generation Computer System. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 455~462

(下转第109页)

间交互作用进行了整体研究。描述了各种关系状态,并作了初步量化。进一步的研究为,将广义相关系数 h 引入 MAS 模型,建立基于广义相关系数 Agent 模型及 MAS 系统框架,即在其 Agent 结构中嵌入相互作用 h 因子,对多 Agent 系统中的协作、非协作关系以及之间的相互转换进行深入探讨,并建立相应的运算体系。同时,对研究中较少的对抗型交互关系进行深入探讨。

参考文献

- 张维明. 智能协作信息技术. 北京: 电子工业出版社, 2002
- 史忠植. 智能主体及其应用. 北京: 科学出版社, 2000
- 何华灿. 泛逻辑学原理. 北京: 科学出版社, 2001
- Oliveira E, Mouta F, Rocha A P. Negotiation and conflict resolution within a community of cooperative agents. In: Proc. Intl. Symposium on Autonomous Decentralized Systems, 1993
- Denzinger J. Foundation of Multi-Agent Systems. <http://www.cpsc.ualgary.ca/~denzing/>, 2002
- Luck M, d'Inverno M. Engagement and cooperation in motivated agent modeling. In Distributed Artificial Intelligence: Architecture and Modeling, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1087, 70-84. Springer-Verlag, 1996
- 史忠植. 高级人工智能. 北京: 科学出版社, 1998
- Zlotkin G, Rosenschein J S. Cooperation and conflict resolution via negotiation among autonomous agents in noncooperative domains. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 1991, 21(6): 1317~1324
- Zlotkin G, Rosenschein J S. Negotiation and task sharing among autonomous agents in cooperative domains. In: Proc. Eleventh Int. Joint Conf. Artificial Intell., Detroit, MI, Aug. 1989. 912~917
- Tomlin C, Pappas C J, Sastry S. Noncooperative conflict resolution. In: Proc. 36th Conf. Decision & Control., 1997. 1816~1821
- Rong J, Geng S, Valasek J, Ioerger T R. Air traffic conflict negotiation and resolution using an onboard multi-agent. In: Digital Avionics Systems Conf., 2002, 2: 7B2-1~7B2-12
- 毛卫良, 王晓东, 盛焕烨. 一个基于“恶意对抗”的公平交互机制的研究. 计算机学报, 2001(11)
- 徐润萍, 王树宗, 顾健. 兵力协同计划方案智能决策系统研究. 系统仿真学报, 2002(11)
- (上接第102页)
- Borgida A. Language features for flexible handling of exception in information systems. ACM Transactions on Database System, 1985, 10(4): 536~603
- Weber A. Updating propositional formulas. In: Kerschberg L, ed. Proc. of the 1st Conf. on Expert Database Systems. Menlo Park: Benjamin Cummings, 1986. 487~500
- Forbus K D. Introducing actions into qualitative simulation. In: Sridharan NS, ed. Proc. of the Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1989. 1273~1278
- Winslett M. Reasoning about action using possible models approach. In: Mitchell TM, Smith RG, eds. Proc. of the 7th National Conf. on Artificial Intelligence. California: AAAI Press, 1988. 89~93
- Alchourron C E, Gardenfors P, Markinson D. On the logic of theory change: partial meet contraction and revision functions. The Journal of Symbolic Logic, 1985, 50(2): 510~530
- Gardenfors P. Knowledge in Flux: Modeling the Dynamics of Epistemic States. Cambridge: The MIT Press, 1988
- Gardenfors P, Makinson D. Revisions of knowledge systems using epistemic entrenchment. In: Vardi M Y, ed. Proc. of the 2nd Conf. on Theoretical Aspects of Reasoning About Knowledge. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1988. 83~95
- Katsuno H, Mendelzon A O. Propositional knowledge base revision and minimal change. Artificial Intelligence, 1991, 52(3): 263~294
- Nebel BA. Knowledge level analysis of belief revision. In: Brachman R J, Levesque H J, Reiter R, eds. Proc. of the 1st Intl. Conf. Principles of Knowledge Representation and Reasoning. San Francisco: Morgan Kaufman, 1989. 301~311
- Hansson S O. New operators for theory change. Theoria, 1989, 55: 114~132
- Fuhrman A. Theory contraction through base contraction. Journal of Philosophical Logic, 1991, 20: 175~203
- Rott H. A nonmonotonic conditional logic for belief revision I. In: Fuhrman A, Morreau M, eds. The Logic of Theory Change. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 135~181
- Williams M. Two operators for theory base change. In: Adams A, Sterling L S, eds. Proc. of the 5th Australian Joint Conf. on Artificial Intelligence. Singapore: World Scientific, 1992. 256~265
- Wobcke W R. A belief revision approach to nonmonotonic reasoning. In: Adams A, Sterling L S, eds. Proc. of the 5th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence. Singapore: World Scientific, 1992. 278~283
- Li W. A open logic system. Science in China (Series A), 1993, 22(10): 1103~1113
- Li W, Shen N C, Wang J. R-calculus: a logical approach for knowledge base maintenance. Intl. Journal of Artificial Intelligence Tools, 1995, 4(1-2): 177~200
- Darwiche A, Pearl J. On the logic of iterated belief revision. Artificial Intelligence, 1997, 89(1-2): 1~29
- Boutilier C. Revision sequences and nested conditionals. In: Bajcsy R, ed. Proc. of the 13th Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993. 519~525
- Dixon S E. Belief revision: a computational approach. [PhD Thesis]. Sydney: University of Sydney, 1994
- Dixon S E. A finite base belief revision system. Australian Computer Science Communications, 1993, 15(1): 445~451
- Dixon S E, Wocke W R. The implementation of a first-order logic AGM belief revision system. In: Bajcsy R, ed. Proc. of the 13th Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993. 534~539
- Williams M A. Towards a practical approach to belief revision: reason-based approach. In: Aiello LC, Doyle J, Shapiro SC, eds. Proc. of the 5th Intl. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, San Francisco: Morgan Kaufmann, 1996. 412~420
- Damasio C V, Nejdl W, Pereira L P. REVISE: an extended logic programming systems for revising knowledge bases. In: Doyle J, Sandewall E, Torasso P, eds. Proc. of the Intl. Conf. on Knowledge Representation and Reasoning. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1994. 607~618
- Sullivan J W, Tyler S W. Intelligent User Interfaces. New York: ACM Press, 1991
- 陈尚敏. 信念归结及其应用: [北京航空航天大学博士学位论文]. 1999
- Luan Shangmin, Dai Guozhong. A Programmable Approach to Revision of a Finite Belief Set. Journal of Computer Science and Technology, 2003, 18(1): 102~108
- 陈尚敏, 李未. 信念修正的典型方法之比较. 计算机科学, 1999, 26(7): 8~13
- Gallier J H. Logic for Computer Science, Foundations of Automatic Theorem Proving. New York: John Wiley & Sons Inc., 1987