软件学报 ISSN 1000-9825, CODEN RUXUEW
Journal of Software,2012,23(11):2871−2884 [doi: 10.3724/SP.J.1001.2012.04302]
©中国科学院软件研究所版权所有.
E-mail: jos@iscas.ac.cn
http://www.jos.org.cn
Tel/Fax: +86-10-62562563

论辩系统的动态性及其研究进展*

廖备水 [1,2+]

[1](浙江大学 语言与认知研究中心,浙江 杭州 310028)

[2](浙江大学 哲学系,浙江 杭州 310028)

Dynamics of Argumentation Systems and Its Research Development

LIAO Bei-Shui[1,2+]

[1](Center for the Study of Language and Cognition, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

[2](Department of Philosophy, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

+ Corresponding author: E-mail: baiseliao@zju.edu.cn, http://mypage.zju.edu.cn/beishui

Liao BS. Dynamics of argumentation systems and its research development. *Journal of Software*, 2012,23(11): 2871−2884 (in Chinese). http://www.jos.org.cn/1000-9825/4302.htm

Abstract: Argumentation systems are a kind of non-monotonic formalisms, capable of supporting the reasoning and decision-making of individual agents, and the effective interactions among multiple agents. Since the knowledge, observations of an individual agent and the interacting process of different agents are dynamic in various argumentation systems, the changing of arguments and attacks is pervasive. As a new research area, the concepts, theories and methods related to dynamic of argumentation systems are far from mature. After introducing the basic working mechanism of argumentation systems, this paper presents two research directions of dynamics of argumentation systems (i.e., forward dynamics and backward dynamics) and discusses some open problems to be resolved. According to these problems, the paper briefly reviews the existing theories and methods, and analyzes their properties and shortcomings.

Key words: argumentation system; non-monotonic reasoning; agent and multi-agent system; dynamics; knowledge-based system

摘 要: 论辩系统是一种非单调形式体系,能够支持个体 Agent 的推理决策和多 Agent 之间的有效交互.由于个体 Agent 的知识、观察信息和资源的动态性以及多 Agent 交互过程的动态性,在各类论辩系统中,论证及其攻击关系的动态性是普遍存在的.作为一个新的研究领域,有关论辩系统动态性的概念、理论和方法远未成熟.在介绍论辩系统相关概念的基础上,阐明论辩系统动态性的两个主要研究方向(正向动态性和逆向动态性),并讨论需要解决的开放性问题.围绕这些问题,简要回顾现有的理论和方法,并分析其特点和不足.

关键词: 论辩系统;非单调推理;Agent 与多 Agent 系统;动态性;基于知识的系统

中图法分类号: TP181 **文献标识码**: A

* 基金项目: 国家自然科学基金(61175058, 60773177); 国家重点基础研究发展计划(973)(2012CB316400); 浙江省自然科学基金(Y1100036)

收稿时间: 2012-06-10; 修改时间: 2012-08-12; 定稿时间: 2012-08-21

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

随着 Agent 被越来越多地应用于开放、动态的环境中,如何使它们能够根据动态的、不完全的、不确定的、不一致的知识和信息进行正确而高效的推理,已经成为 Agent 研究领域的热点问题[1−7].首先,在动态环境中,Agent 通过感知获得的信息经常是不确定的、不准确的、片面的[4,8];其次,Agent 在参与协作的过程中,经常存在内部动机(愿望)与外部动机(义务、规范等)之间的冲突[2,5,6];再次,Agent 所依赖的资源的动态性使得 Agent 在进行规划时要考虑动作的可行性以及动作之间的冲突关系[9].上述知识的动态性、不完全性、不确定性和不一致性,使得 Agent 的推理过程经常表现出非单调性,即,当新的知识加入系统时,先前得出的结论可以被推翻.此外,Agent 之间在进行协商、对话和说服时,需要处理各种冲突,以解决争议、形成共识、实现协作.因此,如何使 Agent 具有非单调的推理能力并且能够在开放的环境中实现相互之间的有效交互和协同工作,是当前 Agent 研究领域的一个非常重要的方向[2].目前,国内外已经出现了多种基于非单调理论的 Agent 模型,如基于可废止逻辑的 Agent[10]、基于缺省逻辑的 Agent[11]以及基于论辩理论的 Agent[4,5,12]等.其中,基于论辩理论的 Agent 研究是当前的热点[13,14],其根本原因在于:

1) 论辩理论(argumentation theory)可以用于形式化各类非单调推理(不仅可以用于刻画个体 Agent 的内部推理,如信念修正、慎思、手段-目的推理和决策等[13−16],而且可以用于阐明多 Agent 交互时的推理模式,如协商、对话和说服等[13]),比传统非单调推理形式体系(如缺省逻辑、自认识逻辑、限定推理等)具有更强的通用性.
2) 论辩理论更加贴近于人类的推理模式,易于对各种应用进行建模.
3) 论辩系统具有日益成熟的语义模型(论辩语义)[17]和计算模型[18−21],因此具有较好的可实现性.

基于上述原因,进一步深入研究论辩系统的理论、方法和实现技术,对于推动论辩理论在 Agent 领域中的应用具有非常重要的意义.

目前,对论辩系统的研究主要分为两个方面:静态的和动态的.论辩系统的静态方面主要研究在某个给定时间点论辩系统的语义[17,22]、证明理论、算法[18−21,23,24]和计算复杂性[25,26]等;论辩系统的动态方面则主要研究在不同时间点论辩系统在结构和语义上的变化,以及相应的算法和计算复杂性分析.在过去的十几年时间里,论辩系统静态方面的研究已经比较成熟(参见文献[13]),而对论辩系统动态方面的研究却在很大程度上被忽视了**.

事实上,由于 Agent 的知识、观察信息、资源和环境等均是不断变化的,在包括信念修正[6,27−31]、慎思[3,32−35]、决策[15,36−39]和协商[40−46]等在内的各类论辩系统中,论证及其攻击关系的动态变化是普遍存在的.这里,让我们举几个例子.文献[28,29]中阐明了一个系统,该系统中实例化的论辩框架基于动态变化的观察信息.所以在每个时间点,当观察信息发生变化时,论证及其攻击关系也会相应地发生变化.在文献[6,47]中,当一个论辩系统收到新的解释时,一些硬性规则被转换成可废止规则,从而引起论证及其攻击关系发生变化.在文献[2,35]中,由于观察信息和推理规则的动态性,用于产生信念、目标和意图的论辩框架是动态的;在文献[43,44]中,基于论辩的协商(简称 ABN)Agent 以不完全、不确定和不一致的信息进行推理.每个 Agent 的理论(作为一个论辩系统)可以在一个协商对话的过程中演化,即,如果一个 Agent 收到来自另一个 Agent 的论证(argument),它会将新的论证加入自己的理论中,进而在原有的论证和新加入的论证之间可能产生冲突.在文献[48]中,当来自不同 Agent 的一组论辩系统合并时(在各论辩系统进行一系列扩张以后),各个论辩系统的论证和攻击关系将相应地发生变化.

综上所述,由于动态性是论辩系统的基本特性,如何实现该特性是研究各种不同论辩系统时所面临的核心问题之一.由于这个原因,有关论辩系统动态性的研究在最近两三年来受到了越来越多的关注,并出现了一些重要的研究成果[28−31,38,47,49−55].然而作为一个新的领域,有关论辩系统动态性的概念、理论和方法仍然是零星的和分散的.为了促进论辩系统动态性这一重要研究领域的发展,本文在介绍论辩系统基本工作机制的基础上,通过分析和归类,阐明论辩系统动态性的两个主要研究方向(正向动态性和逆向动态性)并讨论需要解决的开放性问题.围绕这些问题,我们简要回顾现有的理论和方法并分析它们的特点和不足.

** 例如,Dunne 在文献[25](原文第 102 页)中指出:"… the treatment of algorithms and complexity issues relating to determining argument status in dynamically changing environments has been somewhat neglected".

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

1 论辩系统的基本工作机制

这一节我们简要介绍论辩系统的基本工作机制及相关概念.

论辩(argumentation)的概念可以追溯到亚里士多德的《论题篇》和《辨谬篇》,意指倾向于实践的、应用的逻辑.自20世纪60年代以来,论辩推理在很长一段时间里属于非形式逻辑领域的研究范畴.直到1995年,Dung开创性地把论辩推理与非单调推理及逻辑编程紧密联系起来,使得论辩理论(及其应用)迅速发展成为人工智能领域的热点研究方向之一[13].

在一个论辩系统中,推理知识和观察信息由特定的逻辑语言来表达.这些推理知识和观察信息在运行中被实例化.一组实例化的推理知识集合和观察信息(事实)集合构成一个可废止理论(defeasible theory).根据可废止理论,论辩系统通过构造论证、比较论证(确定论证之间的冲突关系及其优越关系)和评估论证(决定论证的状态:接受、拒绝或未确定)来实现推理,并通过识别结论,最终得到推理结果(如图1所示).

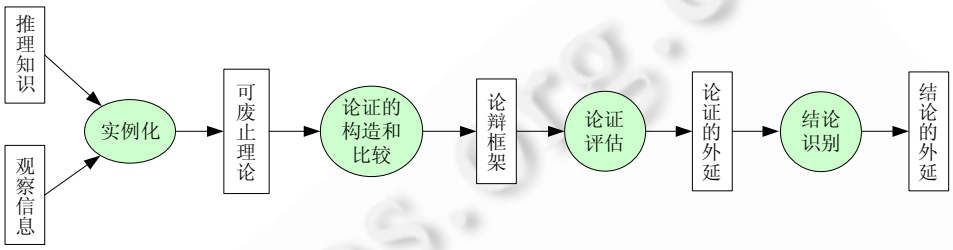

Fig.1 Basic working mechanism of an argumentation system

图1 论辩系统的基本工作机制

接下来,分别从知识的表示、论证的构造、论证的比较、论证的评估和结论的识别这5个方面来介绍论辩系统的上述工作机制.

1.1 知识的表示

在各种论辩系统中,不完全的、不一致的知识可以由不同的语言(如基于规则的语言[2,4]、基于假设的语言[6]等)来表示.考虑到在多数应用系统中(如法律推理、多Agent协商、规范系统以及个体Agent决策等),知识可以自然地表示为各种不同的规则.在下文中,我们将以基于规则的表示语言为例***.

在基于规则的系统中,知识一般分为3类:事实(fact)、硬性规则(strict rule)和可废止规则(defeasible rule).事实是不可辩驳的陈述(为简单起见,一般将观察信息当成事实);硬性规则用于表示确凿的知识,即如果前提是不可辩驳的,那么结论也是,例如,“企鹅是鸟”;可废止规则用于表示不确定的知识,例如,“典型地,鸟会飞”,意指一般情况下鸟会飞,除非存在例外情况.除了上述3类规则以外,在有些系统中,还包括另外一类规则,即废止者(defeater)[56].它不可以推导出任何结论,但可以阻碍其他规则得出结论(即破坏其他相关规则的可应用性).

规则由前提(身体)、箭头符号($\rightarrow$,$\Rightarrow$和$\rightsquigarrow$分别表示硬性规则、可废止规则和废止者)和结论(头)组成,其中,前提是一组文字的集合,头是一个文字[1].在这里,文字是一个原子公式,或一个原子公式的非(若p是一个原子公式,那么“p 的非”表示为“$\neg p$”).规则之间允许存在冲突.通过规则之间的优越关系(明确指定,或根据知识的具体性来确定)可以解决部分知识冲突.

由事实、硬性规则和可废止规则构成的知识集合(有时还包含废止者集合以及显式表示的规则之间的优越关系集合)通常称为一个可废止理论[56]或可废止逻辑程序(defeasible logic program)[57].形式化地,我们把一个可废止理论表示为一个三元组$\mathcal{D}=(F,R,\succ)$.其中,F 是一组事实集合,R 是一组规则结合,$\succ\subseteq R\times R$ 是规则上的优越关

*** 论辩系统的知识表示方法和论证的构造方法与所使用的底层逻辑有关,且目前在相关概念上尚不统一.考虑到本节的目的是为了引入论辩系统的基本概念,我们仅以一种基于可废止逻辑的方法作为例示.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

系集合(为简便起见,两条规则之间的优越关系也用$\succ$表示,如用 $r_1 \succ r_2$ 表示 r_1 优越于 r_2).在可废止理论中,R 中的每条规则都是不含变量的,称为基规则(grounded rule).基规则是由模式规则(带变量的规则)实例化而来的.在一个论辩系统中,模式规则的集合记作$\mathbb{R}$,而模式规则之间的优越关系集合记作$\geqslant$.我们把二元组$\mathbb{K}=(\mathbb{R},\geqslant)$称为一个论辩系统的推理知识.

当 Agent 的推理知识$\mathbb{K}=(\mathbb{R},\geqslant)$及观察信息(即事实集合 F)发生变化时,相应的可废止理论$\mathcal{D}=(F,R,\succ)$也随之发生变化.

例 1:设在一个 Agent(记作 Ag_1)的知识库中有一组模式规则集合:$\mathbb{R}_1$={“共和党的人通常不是和平主义者”,“教友会的人通常是和平主义者”,“生活在芝加哥的人通常拥有枪支”,“和平主义者应该遵循非暴力原则”, “对于遵循非暴力原则的人来说,即使他生活在芝加哥,也不能由此推出他拥有枪支的结论”}.形式化地,可以把这些规则表示为:

- r_1: $republican(X) \Rightarrow \neg pacifist(X)$;
- r_2: $quaker(X) \Rightarrow pacifist(X)$;
- r_3: $lives_in_chicago(X) \Rightarrow has_a_gun(X)$;
- r_4: $pacifist(X) \Rightarrow nonviolence(X)$;
- r_5: $lives_in_chicago(X), nonviolence(X) \rightsquigarrow \neg has_a_gun(X)$.

$\mathbb{R}_1$ 之间的优越关系集合$\geqslant_1=\{r_5 \geqslant r_3\}$.

假设在时间点 t_1,Ag_1 接收到两条信息:“尼克松是教友会的人”($quaker(nixon)$)和“尼克松生活在芝加哥”($lives_in_chicago(nixon)$).于是,Ag_1 得到一个可废止理论$\mathcal{D}_1=(F_1,R_1,\succ_1)$.其中,

- $F_1=\{quaker(nixon), lives_in_chicago(nixon)\}$;
- $R_1=\{(r_{2,1}: quaker(nixon) \Rightarrow pacifist(nixon)), (r_{3,1}: lives_in_chicago(nixon) \Rightarrow has_a_gun(nixon)), (r_{4,1}: pacifist(nixon) \Rightarrow nonviolence(nixon)), (r_{5,1}: lives_in_chicago(nixon), nonviolence(nixon) \rightsquigarrow \neg has_a_gun(nixon))\}$;
- $\succ_1=\{r_{5,1} \succ r_{3,1}\}$.

假设在时间点 t_2,Ag_1 接收到另外一条信息:“尼克松是共和党的人”($republican(nixon)$).这时,Ag_1 的可废止理论变为 $\mathcal{D}_1'=(F_1',R_1',\succ_1')$.其中,

- $F_1'=F_1 \cup \{republican(nixon)\}$;
- $R_1'=R_1 \cup \{(r_{1,1}: republican(nixon) \Rightarrow \neg pacifist(nixon))\}$;
- $\succ_1'=\succ_1=\{r_{5,1} \succ r_{3,1}\}$.

在例 1 中,当观察信息发生变化时,可废止理论也发生变化;同样,当 Agent 的推理知识发生更新时,相应的可废止理论也会随之更新(具体例子详见文献[2]).

1.2 论证的构造

给定一个可废止理论$\mathcal{D}=(F,R,\succ)$,由$\mathcal{D}$构造而来的每个论证可以表示为一个二元组$\alpha=(H,h)$,其中,$H \subseteq F \cup R$,是一组规则和文字集合;h 是结论(表示为一个文字).

一般地,论证$\alpha=(H,h)$必须满足如下 3 个条件:

1) 由 H 可推导出 h;
2) 不存在 $H' \subset H$,使得由 H'可推导出 h;
3) H 是无冲突的.

我们把 H 中结论为 h 的规则称为顶层规则.根据论证中所使用知识的不同,可以把论证分为 3 类:硬性论证、可废止论证和废止者论证.

- $\alpha=(H,h)$是一个硬性论证,当且仅当 H 中不包含可废止规则和废止者;
- $\alpha=(H,h)$是一个可废止论证,当且仅当 H 中包含可废止规则,但不包含废止者;

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

- $\alpha=(H,h)$是一个废止者论证,当且仅当 H 的顶层规则是废止者,而其他部分不包含废止者.

之所以要求废止者只能充当一个论证的顶层规则,是由于废止者不能用于推导出任何结论,而只能用于阻碍其他规则得出结论.因此,对于一个废止者论证(H,h),其结论 h 不能作为输出.

在本文中,我们把由可废止理论$\mathcal{D}=(F,R,\succ)$构造而来的所有论证的集合记作 $Arg(\mathcal{D})$.显然,随着可废止理论$\mathcal{D}$的变更,由该理论构造而来的论证集合 $Arg(\mathcal{D})$也是动态变化的.

例 2:根据可废止理论$\mathcal{D}_1$,可建立论证集合 $Arg(\mathcal{D}_1)=\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\alpha_4,\alpha_5,\alpha_6\}$,其中,

- $\alpha_1=(\{quaker(nixon)\},quaker(nixon))$;
- $\alpha_2=(\{lives_in_chicago(nixon)\},lives_in_chicago(nixon))$;
- $\alpha_3=(\{quaker(nixon),(r_{2,1}:quaker(nixon)\Rightarrow pacifist(nixon))\},pacifist(nixon))$;
- $\alpha_4=(\{quaker(nixon),(r_{2,1}:quaker(nixon)\Rightarrow pacifist(nixon)),(r_{4,1}:pacifist(nixon)\Rightarrow nonviolence(nixon))\},$ $nonviolence(nixon))$;
- $\alpha_5=(\{lives_in_chicago(nixon),(r_{3,1}:lives_in_chicago(nixon)\Rightarrow has_a_gun(nixon))\},has_a_gun(nixon))$;
- $\alpha_6=(\{quaker(nixon),lives_in_chicago(nixon),(r_{2,1}:quaker(nixon)\Rightarrow pacifist(nixon)),(r_{4,1}:pacifist(nixon)\Rightarrow$ $nonviolence(nixon)),(r_{5,1}:lives_in_chicago(nixon),nonviolence(nixon))\rightsquigarrow\neg has_a_gun(nixon)\}),$ $\neg has_a_gun(nixon))$.

根据可废止理论 $\mathcal{D}_1'$,可建立另外两个论证:

- $\alpha_7=(\{republican(nixon)\},republican(nixon))$;
- $\alpha_8=(\{republican(nixon),(r_{1,1}:republican(nixon)\Rightarrow\neg pacifist(nixon))\},\neg pacifist(nixon))$.

在前面所构建的论证中,α_1,α_2 和α_7 是硬性论证;α_6 是废止者论证;其他的都是可废止论证.

1.3 论证的比较

论证之间的关系主要包括两类:子论证关系和攻击关系.

给定两个论证$\alpha=(H,h)$和$\alpha'=(H',h')$,如果 $H\subseteq H'$,那么α是α'的子论证;如果 $H\subset H'$,那么α是α'的真子论证(proper subargument).例如,在例 2 中,α_1 是α_3 的真子论证,α_3 是α_4 的真子论证.

攻击关系可以分为反驳(rebutting)和底切(undercutting).给定两个论证$\alpha_1=(H_1,h_1)$和$\alpha_2=(H_2,h_2)$,如果 h_1 是 h_2 的非(即 h_1 与 h_2 互补),那么α_1 反驳α_2(反之亦然);如果存在α_2 的一个子论证α,使得α_1 反驳α,那么α_1 底切α_2.

如果论证α_1 与α_2 相互反驳,但α_1 优越于α_2(论证之间的优越关系由相关规则之间的优越关系确定,具体可参考文献[57]),那么我们说α_1 是α_2 的真击败者(proper defeater);反之,如果两个论证之间无优越关系,则二者皆为阻碍攻击者(blocking defeater).

在本文中,把由可废止理论$\mathcal{D}=(F,R,\succ)$构造而来的所有论证之间的攻击关系集合记作 $Att(\mathcal{D})$.显然,随着可废止理论$\mathcal{D}$的变更,由该理论构造而来的论证之间的攻击关系集合 $Att(\mathcal{D})$也是动态变化的.

例 3:根据例 2 所构建的 8 个论证,我们可辨别出如下攻击关系:

- α_6 与α_5 相互反驳,但因为α_6 优越于α_5(因为 $r_{5,1}\succ r_{3,1}$),所以α_6 真击败α_5,记作(α_6,α_5);
- α_3 与α_8 相互反驳,记作(α_3,α_8)和(α_8,α_3);
- α_8 底切α_6,记作(α_8,α_6);
- α_8 底切α_4,记作(α_8,α_4).

由例 1~例 3 可知:$Att(\mathcal{D}_1)=\{(\alpha_6,\alpha_5)\}$,$Att(\mathcal{D}_1')=\{(\alpha_6,\alpha_5),(\alpha_3,\alpha_8),(\alpha_8,\alpha_3),(\alpha_8,\alpha_6),(\alpha_8,\alpha_4)\}$.

1.4 论证的评估

给定一个可废止理论$\mathcal{D}=(F,R,\succ)$,通过论证的构造和比较,得到一组论证集合 $Arg(\mathcal{D})$和一组攻击关系集合 $Att(\mathcal{D})\subseteq Arg(\mathcal{D})\times Arg(\mathcal{D})$.我们把由 $Arg(\mathcal{D})$和 $Att(\mathcal{D})$组成的二元组称为一个论辩框架,记作 $AF=(Arg(\mathcal{D}),Att(\mathcal{D}))$.

例 4:根据例 1~例 3,我们可以得到两个论辩框架(如图 2 所示):

- $AF_1=(Arg(\mathcal{D}_1),Att(\mathcal{D}_1))$;

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

- $AF_1' = (Arg(\mathcal{D}_1'), Att(\mathcal{D}_1'))$.

(a) AF_1 (b) AF_1'

Fig.2 Argumentation frameworks and their evolution

图 2 论辩框架及其演化

例 4 显示,在不同的时间点,论辩框架随着底层可废止理论的变化而变化(新的论证和相应的攻击关系被加入系统).

在一个论辩框架中,论证评估的目的就是根据特定的评价标准确定各个论证的状态以及各个论证的动态演化情况.由于论辩框架中各个论证的状态通常互相关联,经过论证评估,我们选出的是那些被认为满足特定评价标准的集体可接受的论证子集.在这里,一组集体可接受的论证子集被称为该论辩框架的一个外延(extension),而在特定评价标准下得到的一组外延集合被称为该论辩框架的辩论语义.目前,对于一组论证集合是否为集体可接受的,其评价标准通常包括无冲突的、可防御的、怀疑的、轻信的等等.给定一个论辩框架 $AF=(Arg(\mathcal{D}),Att(\mathcal{D}))$和一组论证集合 $B\subseteq Arg(\mathcal{D})$,我们说,$B$ 是无冲突的,当且仅 B 中不存在两个相互冲突的论证;B 可以防御一个论证$\gamma\in Arg(\mathcal{D})$,当且仅当对于攻击$\gamma$的任意论证$\xi$,集合 B 中总是存在一个攻击ξ的论证;B 是一个完全外延(complete extension),当且仅当每个得到 B 防御的论证都在 B 中;B 是一个优先外延(preferred extension),当且仅当 B 是最大的完全外延(即满足轻信的评价标准);B 是一个基外延(grounded extension),当且仅当 B 是最小的完全外延(即满足怀疑的评价标准);B 是一个稳定外延(stable extension),当且仅当 B 是一个优先外延,且它攻击 A 中不属于 B 的所有论证.

除了上述基于外延的论证评估方法以外,在现有的文献中,还存在一些其他方法用于评估论证,如基于辩证树(dialectical tree)的方法[28]、基于论证标签的方法[20]等.

例 5:根据例 4,在时间点 t_2,论辩框架 $AF_1' = (Arg(\mathcal{D}_1'), Att(\mathcal{D}_1'))$ 在不同的评价标准下有如下外延:

- $\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_7\}$,$\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_5,\alpha_7,\alpha_8\}$和$\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\alpha_4,\alpha_6,\alpha_7\}$是 AF_1 的完全外延;
- $\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_5,\alpha_7,\alpha_8\}$和$\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\alpha_4,\alpha_6,\alpha_7\}$既是 AF_1 的优先外延,又是 AF_1 的稳定外延;
- $\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_7\}$是 AF_1 的基外延.

例 6:除了在特定时间点对论辩框架中的各个论证的状态进行评估以外,我们还可以观察在不同时间点一个论辩框架中的论证状态的演化情况.例如在时间点 t_1 和 t_2,Ag_1 的论辩框架从 AF_1 变化为 AF_1'.相应地,论辩框架中的某些论证的状态也发生变化.例如,在时间点 t_1,AF_1 中的α_6 是怀疑可接受的,α_5 是在所有外延下均被拒绝的;在时间点 t_2, AF_1' 中α_5 和α_6 的状态均变为轻信可接受的.

1.5 结论的识别

根据论证评估的结果(论辩语义),可得知各个论证及其所支持的结论的状态.然而,由于在一些评价标准下一个论辩框架可能有多个外延(例 5),因此我们区分 3 种论证状态(相应地,3 种结论状态):

- 一个论证(及其所支持的结论)在某种语义下是怀疑可接受的(skeptically accepted),当且仅当该论证在每一个外延中;
- 一个论证(及其所支持的结论)在某种语义下是轻信可接受的(credulously accepted),当且仅当存在一个外延,使得该论证在这个外延中;
- 一个论证(及其所支持的结论)在某种语义下是被拒绝的(rejected),当且仅当不存在一个外延,使得该论证在这个外延中.

例 7:根据例 5,在时间点 t_2,在完全语义下,α_1,α_2 和α_7 是怀疑可接受的;α_3,α_4,α_5,α_6 和α_8 是轻信可接受的.因此,

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

由α_1,α_2和α_7支持的结论(“尼克松是教友会的人”、“尼克松生活在芝加哥”和“尼克松是共和党的人”)是怀疑可接受的;而由$\alpha_3,\alpha_4,\alpha_5,\alpha_6$和$\alpha_8$支持的结论(“尼克松是和平主义者”、“尼克松遵循非暴力原则”、“尼克松拥有枪支”、“尼克松不拥有枪支”或“尼克松不是和平主义者”)是轻信可接受的.

2 论辩系统动态性的两个主要研究方向

由上一节的介绍可知,在一个论辩系统中,由于底层知识和观察信息的动态性,相应的可废止理论、论辩框架以及论辩框架中各个论证及其所支持的结论的状态也是动态变化的(在本文中,我们称其为论辩系统的正向动态性).另一方面,在一些情况下(如信念修正、目标产生以及 Agent 之间的协商和说服等),我们希望某些信念、目标或观点成为可接受的.因此,我们需要修改论辩框架的组成和结构,使得那些支持所期望的主张、目标或观点的论证的状态成为可接受的.进一步地,我们需要通过修改底层的推理知识或通过获取新的观察信息来产生新的可废止理论,并使其对应于论辩框架的变化.在本文中,我们将后面这种情况称为论辩系统的逆向动态性.

2.1 论辩系统的正向动态性

如图 3 所示,论辩系统的正向动态性主要包括如下 3 个过程:

首先,由于在一个论辩系统中,可废止理论$\mathcal{D}=(F,R,\succ)$是由推理知识$\mathbb{K}=(\mathbb{R},\geqslant)$和观察信息 F 经实例化后得到的,因此当推理知识$\mathbb{K}$和/或观察信息F发生变化时,可废止理论$\mathcal{D}$随之发生变化(如例 1).推理知识的变化可能来自于不同的原因,例如,在 Agent 信念方面,推理知识代表者 Agent 对世界的认识.因此,推理知识的改变意味着 Agent 信念发生变化,包括信念的扩充、收缩和修正;在 Agent 动机方面,推理知识代表着 Agent 的内部动机知识以及与外部 Agent 的协作知识(如协作合同以及管理策略等).因此,推理知识的变化意味着 Agent 的行为模式、协作关系以及社会义务等发生改变;在 Agent 行动方面,推理知识代表着 Agent 的手段-目的关系.因此,推理知识的变化代表着 Agent 的行为、可用资源和动作偏好等发生变化.

其次,随着底层可废止理论$\mathcal{D}=(F,R,\succ)$的变化,所构造的论证集合 $Arg(\mathcal{D})$及其攻击关系集合 $Att(\mathcal{D})$也会随之变化,即论辩框架发生了变化(如例 2 和例 3).

最后,由于论辩框架的变化,在一定评价标准下,论辩系统中某些论证及其所支持的结论的状态也会随之变化(如例 6 和例 7).

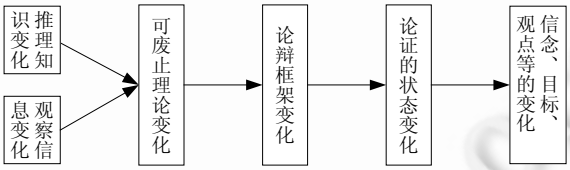

Fig.3 Forward changing of an argumentation system

图 3 论辩系统的正向动态性

从上述分析可知,论辩系统的正向动态性从过程上看并不复杂.然而为了实现论辩系统的动态性,我们需要解决如下开放性问题:

(1) 如何把底层知识和观察信息的动态性与论辩框架的动态性关联起来?

(2) 如何高效地求解论辩框架的语义演化?

对于问题(1),如果每当推理知识和/或观察信息发生变化时,我们都需要重新获得可废止理论,并重新构造和比较论证,那么事实上我们在做许多重复性的工作.因此,我们需要研究高效的机制来实现上述关联,即当系统的推理知识和/或观察信息发生变化时,能够用尽可能小的开支(计算时间及计算空间的开支)来完成论辩框架的更新.

问题(2)同样涉及到计算效率的问题.根据文献[25],许多辩论系统的语义计算不存在多项式时间的算法.我

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

们知道,由于论辩系统中的推理是非单调的,当论证及其攻击关系发生改变时,我们不得不考虑现有的各个论证的状态是否发生了改变.例如,根据例 6 的说明可知,当 Ag_1 的论辩框架从 AF_1 变化为 AF_1' 时,我们需要检查 AF_1 中的每个论证的状态是否发生了改变.显然,如果为了得知一个论辩系统中各个论证的状态演化情况而计算当前论辩框架的外延,那么不仅计算的难度大,而且效率低.

2.2 论辩系统的逆向动态性

与正向动态性不同,论辩系统的逆向动态性(图 4)是由 Agent 所期望的结论(如期望的信念、目标或观点等)驱动的.例如,当一个 Agent 收到一条新的由某个论证支持的信息时,如果该论证与其他论证发生冲突,同时又期望这条信息被接受,那么可能需要删除现有论辩框架中的某些论证,并相应地修改推理知识,以达到目标.又如,当一个 Agent 与其他 Agent 进行协商时,如果希望某些论证被接受(或拒绝),则该 Agent 需要从可用的论证中选择某些论证,并把它们连同攻击关系加入到现有论辩框架中,以达到目的.

论辩系统的逆向动态性也可以分解为如下 3 个过程:

首先,由期望的信念、目标或观点得到期望的论证状态(如在特定的论辩语义下是可接受的).这里的论证是论辩框架中已经存在的,或是新添加的.

其次,根据期望的论证状态,Agent 通过改变论辩框架的组成和结构(如果可能),使得该论证的状态成为所期望的.

最后,根据更新后的论辩框架,通过修正推理知识或通过获取新的观察信息来改变底层的可废止理论.

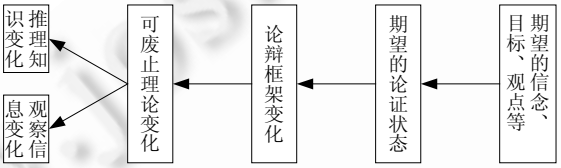

Fig.4 Backward changing of an argumentation system

图 4 论辩系统的逆向动态性

为了实现论辩系统的逆向动态性,我们需要解决如下开放性问题:

(3) 如何根据期望的论证状态,对现有论辩框架进行修正或扩充?

(4) 如何根据修正或扩充后的论辩框架,通过修改推理知识或获取新的观察信息来改变底层的可废止理论,使得从这个新的可废止理论可以映射到新的论辩框架?

对于问题(3),我们区分下面两种情况:一种情况是 Agent 希望在可用的论证集合中选择适当的论证,并把它们加入系统,使得特定论证的状态达到预期的.在这种情况下,如果采用穷尽的方法来尝试每一种可能的添加,那么将带来系统的计算复杂性问题和计算效率问题(类似于前面的问题(2)).因此,如何高效地选择待添加的论证和/或攻击关系是一个需要解决的挑战性问题.另一种情况与信念修正有关,即当 Agent 收到一个论证时,它希望该论证的状态是可接受的.在这种情况下,需要从现有论证中选择一些论证,并把它们从系统中删除.

对于问题(4),当要求从系统中删除某些论证时,需要删除部分推理知识.然而,推理知识的删除一方面会造成有用知识的丢失,另一方面可能对其他相关的论证造成影响.因此,如何合理而高效地选择待删除的推理知识是解决该问题的难点.

3 研究进展

沿着上述两个主要研究方向,最近三四年来,国内外学者在论辩系统动态性研究领域已经取得了一些重要成果[28−32,38,47,49−55].这些成果在一定程度上解决了上述问题,具体表现为以下几个方面:

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

3.1 论辩框架的高效更新方法

这部分研究与上述问题 1 有关.为了提高论辩框架的构造与更新效率,在 Rotstein 等人的工作中[29,58],提出了活跃论证和潜在论证的概念,并在此基础上建立了动态论辩框架(dynamic argumentation framework,简称 DAF).在一个 DAF 中,每个论证由一组前提集合和一个结论组成.当一个论证的每个前提得到一个证据(evidence)或另一个论证的支持时(在这里证据可以理解为事实),该论证是活跃的,否则是不活跃的(或潜在的).用$\boldsymbol{E}$表示一组证据集合,$\boldsymbol{U}$表示系统中所有论证的全集,$\boldsymbol{R}\subseteq\boldsymbol{U}\times\boldsymbol{U}$表示论证间的攻击关系集合.一个动态论辩框架定义为一个元组$\langle\boldsymbol{E},(\boldsymbol{U},\boldsymbol{R})\rangle$,其中,$(\boldsymbol{U},\boldsymbol{R})$是一个框架(可以理解为用于产生实际论辩框架的模板).这样,对于每个论据集合,可以产生一个 DAF 的实例.该实例就是一个普通的论辩框架.

例 8:根据例 1,在时间点 t_1,相应的动态论辩框架是$\langle\boldsymbol{E}_1,(\boldsymbol{U}_1,\boldsymbol{R}_1)\rangle$,其中,

- $\boldsymbol{E}_1=\{quaker(nixon),lives_in_chicago(nixon)\}$;
- $\boldsymbol{U}_1=\{\alpha_1,\ldots,\alpha_8\}$;
- $\boldsymbol{R}_1=\{(\alpha_6,\alpha_5),(\alpha_3,\alpha_8),(\alpha_8,\alpha_3),(\alpha_8,\alpha_6),(\alpha_8,\alpha_4)\}$.

根据$\boldsymbol{E}_1$,在时间点t_1的活跃论证集合为$\{\alpha_1,\ldots,\alpha_6\}$,活跃攻击关系为$\{(\alpha_6,\alpha_5)\}$.在时间点$t_2$,相应的动态论辩框架变为$\langle\boldsymbol{E}_1',(\boldsymbol{U}_1,\boldsymbol{R}_1)\rangle$,其中,$\boldsymbol{U}_1$ 与 $\boldsymbol{R}_1$ 不变,而$\boldsymbol{E}_1'=\{quaker(nixon),republican(nixon),lives_in_chicago(nixon)\}$.根据$\boldsymbol{E}_1'$,在时间点 t_2,活跃的论证集合为$\{\alpha_1,\ldots,\alpha_8\}$,活跃的攻击关系为$\{(\alpha_6,\alpha_5),(\alpha_3,\alpha_8),(\alpha_8,\alpha_3),(\alpha_8,\alpha_6),(\alpha_8,\alpha_4)\}$.

由例 8 可知,在一个动态论辩框架中,论证全集$\boldsymbol{U}$以及相应的攻击关系$\boldsymbol{R}$是固定的.因此,根据一组证据集合,通过激活就可以产生论辩框架,而不需要重新构造论证和比较论证,可以在一定程度上提高系统的计算效率.不过,由于 $\boldsymbol{U}$ 和 $\boldsymbol{R}$ 是不变的,难以反映底层不断变化的知识(推理规则).实际上,因为推理规则的变化(添加、删除或改变类型)将引起论证全集及相应攻击关系的变化.因此,如何在考虑上述因素的基础上建立高效的论辩框架更新方法仍然是值得进一步研究的重要问题.

3.2 论证状态动态变化的高效求解方法

针对上述问题(2),国内外学者近年来进行了一些探索,并取得了重要进展,具体包括如下两个方面:

第 1 个方面的研究旨在阐明论证以及论证之间攻击关系的变化对现有论证状态的影响规律[38,49−51].

根据这些规律,可以直接判断系统中各个论证的状态演化情况,而不需要重新计算系统的外延.

首先,在文献[50]中,Boella 等人研究了当一个论辩系统的论证或攻击关系发生改变时,在哪些情况下,该系统的外延不会发生变化.这项工作主要包括如下两点:

- 建立论证之间攻击关系的抽取原则,即在哪些情况下可以去掉部分攻击关系,而系统中各个论证的状态保持不变.例如,在基语义下,如果一个论证α攻击另外一个论证β,而α的状态是“被拒绝的”,那么删除攻击关系(α,β)不会影响到β的状态,这是因为β事实上受到另外一个状态为“可接受的”论证的攻击.
- 建立论证抽取原则,即在哪些情况下可以删除部分论证,而系统中其他论证的状态保持不变.例如,在基语义下,如果一个论证α攻击另一论证β,而且α的状态是“未确定的”,β的状态是“被拒绝的”(即β还受到另外一个状态为“可接受的”论证的攻击),那么删除α及相应的攻击关系不会影响到β的状态.

其次,在文献[49,59]中,Cayrol 等人研究了加入一个新的论证对一个论辩框架的影响.他们定义了几种不同的修正.其中,一些扩张修正不会改变原系统中论证的状态,而新加入的论证的状态则变为“可接受的”.例如,在基语义下,将一个论证α加入到系统中,如果α不攻击任何论证,而攻击α的唯一论证受到一个状态为“可接受的”论证的攻击.在这种情况下,原系统中论证的状态不受影响,而新的论证α的状态变为“可接受的”.与文献[49,59]相对应,文献[60]讨论了移除一个论证对系统的影响.

最后,在文献[38,51]中,Amgoud 等人在 Agent 决策的特定应用背景下,研究了在哪些条件下,一个新的论证对决策选项的状态没有影响.例如,在基语义下,一个新的实践论证(practical argument)不会影响任何认识论证(epistemic argument)的状态,因为实践论证不允许攻击任何认识论证.同时,如果一个新加入的论证被一个怀疑可接受的论证攻击,那么它也不会对现有论证的状态产生影响.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

上述规律在一些特殊的条件下对于提高论证状态演化的求解效率可以起到一定作用,然而对于一般的论证及攻击关系的变更,上述规律并不适用.

第 2 个方面的研究旨在建立论证状态演化的高效计算方法.

在文献[52,53]中,我们提出了一种基于划分的(division-based)方法.当一个论辩框架发生更新时,它被分成 3 个部分:未受影响的、受影响的和起条件作用的部分.未受影响的子框架中的论证状态保持不变,而受影响的论证状态在一种称为受限论辩框架的特殊论辩框架中求解.受限论辩框架由受影响的部分和起条件作用的部分组成.我们证明了在满足方向性标准的特定语义(完全语义、优先语义、理想语义和基语义)下,发生更新后论辩框架的外延等于未受影响的子框架外延与一组赋值受限论辩框架的外延的合成.在文献[54,61,62]中, Baumann 等人提出了另外一种基于划分(splitting)的方法.该方法与文献[53]在基本思想上类似,都是把一个论辩框架分为不同的部分,而其中一部分论证的状态不用重新计算,从而提高了计算效率.文献[53]与文献[54]的不同之处主要在于如下两个方面:一方面,文献[54]的理论基础是 Lifschitz 提出的逻辑程序的划分方法[55],而文献[53]的理论基础是新建立的;另一方面,文献[54]只讨论了在论辩系统被弱扩充这种特殊情况下的论辩系统动态性的求解方法,而文献[53]则建立了在各种不同情况下普遍有效的方法.

上述基于划分的方法从理论上探索了高效计算论辩系统动态性的可能途径.另一方面,从实现的角度看,仍然需要进一步研究具体的算法,并分析其计算复杂性.

3.3 论辩框架的修正方法

这部分研究与上述问题(3)有关,即如何对现有论辩框架进行修正或扩充,使得某些论证的状态成为所期望的(可接受的、被拒绝的或未确定的).目前的研究主要包括如下 3 个方面:

第一,通过与传统信念修正理论相结合,建立论辩框架修正理论.在文献[63]中,Moguillansky 等人以上述的动态论辩框架为基础,通过修改一棵辩证树,使得位于树根的论证成为可辩护的.在这里,以一个论证α为根的辩证树用于刻画其他论证与α的攻击关系和支持关系:对于树根α,所有攻击α的论证是它的孩子;对于树中的每个内部节点 N,所有攻击 N 的论证是 N 的孩子.为了使得位于树根的论证成为可辩护的,他们通过一个论证选择函数来选择处于攻击线路上的论证,并使得这些论证从活跃论证集合中移除.与文献[63]中介绍的方法相反,在文献[64]中,Moguillansky 等人提出了一种添加活跃论证的方法,使得特定论证成为可辩护的.

上述论辩框架修正理论与基于辩证树的论证状态评估机制相关联.一方面,由于基于辩证树的论证状态评估机制易于实现,因此该理论的可应用性较好;另一方面,考虑到基于辩证树的论证状态评估机制无法根据不同的评价标准来评估论证的状态,该理论的通用性不强.因此,建立更加通用的理论来处理不同论辩语义下的论辩框架修正问题,将会是未来的一个值得探索的方向.

第二,在抽象论辩框架的层面上,研究论辩框架修正的各种类型.在文献[65,66]中,Baumann 等人研究了论辩框架扩张的 3 种形式(标准扩张、强扩张和弱扩张),并阐明了通过加入论证及相关攻击关系使得某些论证的状态成为期望值的可能性和不可能性.在文献[49]中,Cayrol 等人提出了论辩框架修正的类型,并证明了成为特定修正类型的充分条件.

第三,研究如何从一组可用的论证集合中选择论证并加入系统,使得指定的论证状态变为所期望的.在文献[67]中,Boella 等人引入了一种基于条件标签的方法.根据该方法,每个论证均被标上 3 个命题公式.这些公式描述了当要使得某个论证的状态为可接受的、被拒绝的或未确定的时,哪些论证需要被攻击.这样,通过运用这些条件标签,Agent 就有了关于各个攻击的后果的知识,从而在添加新论证时,可避免穷尽搜索所有可能的论证组合而造成的指数级别的计算复杂性问题.不过,由于当一个论辩框架存在循环的攻击关系时条件标签的指派非常复杂,该方法的实际效果有待进一步检验.

3.4 推理知识的修正方法

这部分研究与上述问题(4)有关.由于推理知识可以由不同的逻辑语言(如可废止逻辑、命题逻辑、一阶逻辑等)来表示,推理知识的修正方法与具体的知识表示方法有关.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

目前,基于 DeLP(defeasible logic programming,一种基于可废止规则的非单调逻辑)的方法受到较多关注.在文献[30,68]中,Moguillansky 等人在他们建立的论辩框架修正理论[63]的基础上,定义了一个切割函数(incision function),该函数将待删除的论证映射到适当的可废止规则.由于从一个可废止逻辑程序中删除一些规则通常具有如下缺点:当与某个论证对应的一条规则被删除时,其他包含该规则的论证也会消失.例如,对于图 2 中的论辩框架 AF_1',为了使得新加入的论证α_8是怀疑可辩护的,需要删除论辩框架中的某些论证.假设被α_3被选择作为待删除的论证.这时,如果删除规则 r_2,那么包含该规则的论证α_4和α_6也会消失.考虑到这个因素,他们提出了一种并行切割(collateral incision)的方法.在定义切割函数时,关键问题是如何尽可能少地删除规则.

与上述工作相关,在文献[6]中,Falappa 等人提出一种非优先化的信念修正算子,使得 Agent 在接收到一条与现有知识不一致的新信息时,需要考虑支持该信息的一个解释.如果这条信息是可辩护的,那么把与该信息冲突的硬性规则转换为一组可废止条件式(而不是将硬性规则从系统中删除).因此,这种方法不仅可以保持系统知识的一致性,而且可以在一定程度上减少系统知识的丢失.在此基础上,在文献[69]中,Falappa 等人进一步提出了一种基于分层知识库的修正方法.在分层知识库中,知识被存储在多个具有不同强度的层中.当发生信念修正时,对某一个层的信息的拒绝不会导致对该信息的删除,而是把他们存放在强度较低的一个层中.

除了基于 DeLP 的方法,还出现了一些基于命题逻辑(或一阶逻辑)的方法.例如,在文献[70]中,Moguillansky 等人提出了一种基于命题知识库的方法,该方法根据传统的信念修正理论来处理不一致知识库的动态性问题;在文献[71]中,Šefránek 研究了如何通过改变一个演绎系统来更新一个基于假设的论辩框架.他们把一个逻辑程序之上的基于假设的框架看作由 3 部分组成:一个论辩框架、一个演绎机制和一个知识库.如果逻辑程序被更新,那么该更新被映射到基于假设的框架的更新.

从上述工作可以看出,把传统的信念修正理论应用于论辩系统的知识修正是一个重要的发展方向.由于论辩系统具有非单调性特点以及删除一条规则可能对多个论证产生影响的特点,如何合理而高效地选择规则并对其进行适当修改(删除规则或对规则进行变换),仍然是一个值得进一步研究的关键问题.

4 结 论

作为一个新出现的研究领域,有关论辩系统动态性的研究还未成熟.本文在介绍论辩系统基本工作机制的基础上,阐明了论辩系统动态性的两个主要研究方向,提出了 4 个有待解决的开放性问题.围绕这些问题,回顾了国内外同行已经建立的理论和方法,并分析了它们的特点和不足,指出了一些可能的研究方向.

References:

[1] Liao BS, Huang HX, Gao J. A defeasible logic-based flexible agent for autonomic computing. Journal of Software, 2008,19(3): 605−620 (in Chinese with English abstract). http://www.jos.org.cn/1000-9825/19/605.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2008.00605]

[2] Liao BS, Huang HX. ANGLE: An autonomous, normative and guidable agent with changing knowledge. Information Sciences, 2010,180(17):3117− 3139. [doi: 10.1016/j.ins.2010.03.017]

[3] Modgil S, Luck M. Argumentation based resolution of conflicts between desires and normative goals. In: Rahwan I, Moraitis P, eds. Proc. of the 5th Int'l Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems. LNAI 5384, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 19−36. [doi: 10.1007/978-3-642-00207-6_2]

[4] Rotstein ND, García AJ, Simari GR. Defeasible argumentation support for an extended BDI architecture. In: Rahwan I, Parsons S, Reed C, eds. Proc. of the 4th Int'l Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems. LNAI 4946. Heidelberg: Springer- Verlag, 2008. 145−163. [doi: 10.1007/978-3-540-78915-4_10]

[5] Gaertner D, Toni F. Preferences and assumption-based argumentation for conflict-free normative agents. In: Rahwan I, Parsons S, Reed C, eds. Proc. of the 4th Int'l Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems. LNAI 4946. Heidelberg: Springer- Verlag, 2008. 94−113. [doi: 10.1007/978-3-540-78915-4_7]

[6] Falappa MA, Kern-Isberner G, Simari GR. Explanations, belief revision and defeasible reasoning. Artificial Intelligence, 2002, 141(1-2):1−28. [doi: 10.1016/S0004-3702(02)00258-8]

[7] Bentahar J, Alam R, Maamar Z, Narendra NC. Using argumentation to model and deploy agent-based B2B applications. Knowledge-Based Systems, 2010,23(7):677−692. [doi: 10.1016/j.knosys.2010.01.005]

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[8] Alsinet T, Chesñevar CI, Godo L, Simari GR. A logic programming framework for possibilistic argumentation: Formalization and logical properties. Fuzzy Sets and Systems, 2008,159(10):1208−1228. [doi: 10.1016/j.fss.2007.12.013]

[9] Simari GR, Garcia AJ, Capobianco M. Actions, planning and defeasible reasoning. In: Proc. of the 10th Int'l Workshop on Non-Monotonic Reasoning. Whister, 2004. 377−384.

[10] Dastani M, Governatori G, Rotolo A, van der Torre L. Programming cognitive agents in defeasible logic. In: Sutcliffe G, Voronkov A, eds. Proc. of the 12th Int'l Conf. on Logic for Programming, Artificial Intelligence and Reasoning. LNAI 3835, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 621−635. [doi: 10.1007/11591191_43]

[11] Broersen J, Dastani M, Hulstijn J, van der Torre L. Goal generation in the BOID architecture. Cognitive Science Quarterly, 2002, 2(3-4):431−450.

[12] Prakken H. Combining sceptical epistemic reasoning with credulous practical reasoning. In: Proc. of the Conf. on Computational Models of Argument. IOS Press, 2006. 311−322.

[13] Bench-Capon TJM, Dunne PE. Argumentation in artificial intelligence. Artificial Intelligence, 2007,171(10-15):619−641. [doi: 10.1016/j.artint.2007.05.001]

[14] Simari GR. A brief overview of research in argumentation systems. In: Benferhat S, Grant J, eds. Proc. of 5th Int'l Conf. on Scalable Uncertainty Management. LNAI 6929, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 81−95. [doi: 10.1007/978-3-642-23963-2_8]

[15] Amgoud L, Prade H. Using arguments for making and explaining decisions. Artificial Intelligence, 2009,173(3-4):413−436. [doi: 10.1016/j.artint.2008.11.006]

[16] Bench-Capon T, Atkinson K, McBurney P. Using argumentation to model agent decision making in economic experiments. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2012,25(1):183−208. [doi: 10.1007/s10458-011-9173-6]

[17] Dung PM. On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and *n*-person games. Artificial Intelligence, 1995,77(2):321−357. [doi: 10.1016/0004-3702(94)00041-X]

[18] Dung PM, Mancarella P, Toni F. Computing ideal sceptical argumentation. Artificial Intelligence, 2007,171(10-15):642−674. [doi: 10.1016/j.artint.2007.05.003]

[19] Kakas AC, Toni F. Computing argumentation in logic programming. Journal of Logic and Computation, 1999,9(4):515−562. [doi: 10.1093/logcom/9.4.515]

[20] Modgil S, Caminada M. Proof theories and algorithms for abstract argumentation frameworks. In: Rahwan I, Simari GR, eds. Proc. of the Argumentation in Artificial Intelligence. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 105−129. [doi: 10.1007/978-0-387-98197-0_6]

[21] Xiong CQ, Li DH. Model of argumentation. Journal of Software, 2009,20(8):2181−2190 (in Chinese with English abstract). http://www.jos.org.cn/1000-9825/3465.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03465]

[22] Baroni P, Dunne PE, Giacomin M. On the resolution-based family of abstract argumentation semantics and its grounded instance. Artificial Intelligence, 2011,175(3-4):791−813. [doi: 10.1016/j.artint.2010.11.005]

[23] Dvořák W, Ordyniak S, Szeider S. Augmenting tractable fragments of abstract argumentation. Artificial Intelligence, 2012,186: 157−173. [doi: 10.1016/j.artint.2012.03.002]

[24] Dvořák W, Pichler R, Woltran S. Towards fixed-parameter tractable algorithms for abstract argumentation. Artificial Intelligence, 2012,186:1−37. [doi: 10.1016/j.artint.2012.03.005]

[25] Dunne PE, Wooldridge M. Complexity of abstract argumentation. In: Rahwan I, Simari GR, eds. Proc. of the Argumentation in Artificial Intelligence. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 85−104. [doi: 10.1007/978-0-387-98197-0_5]

[26] Kim EJ, Ordyniak S, Szeider S. Algorithms and complexity results for persuasive argumentation. Artificial Intelligence, 2011, 175(9-10):1722−1736. [doi: 10.1016/j.artint.2011.03.001]

[27] Capobianco M, Chesnevar CI, Simari GR. An argument-based framework to model an agent's beliefs in a dynamic environment. In: Rahwan I, *et al*., eds. Proc. of the ArgMAS 2004. LNAI 3366, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 95−110. [doi: 10.1007/978-3-540-32261-0_7]

[28] Capobianco M, Chesnevar CI, Simari GR. Argumentation and the dynamics of warranted beliefs in changing environments. Journal of Agents and Multi-agent Systems, 2005,11(2):127−151. [doi: 10.1007/s10458-005-1354-8]

[29] Rotstein ND, Moguillansky MO, García AJ, Simari GR. An abstract argumentation framework for handling dynamics. In: Proc. of the NMR 2008. Sydney, 2008. 131−139.

[30] Moguillansky MO, Rotstein ND, Falappa MA, García AJ, Simari GR. Argument theory change applied to defeasible logic programming. In: Proc. of the AAAI 2008. Chicago, 2008. 132−137.

[31] Falappa MA, Kern-Isberner G, Simari GR. Belief revision and argumentation theory. In: Rahwan I, Simari GR, eds. Proc. of the Argumentation in Artificial Intelligence. 2009. 341−360. [doi: 10.1007/978-0-387-98197-0_17]

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[32] Amgoud L. A formal framework for handling conflicting desires. In: Proc. of the ECSQARU. LNCS 2711, Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. 552−563. [doi: 10.1007/978-3-540-45062-7_45]

[33] Amgoud L, Devred C, Lagasquie-Schiex M. A constrained argumentation system for practical reasoning. In: Proc. of the ArgMas 2008. LNAI 5384, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 37−56.

[34] Gaertner D, Rodríguez-Aguilar JA, Toni F. Agreeing on institutional goals for multi-agent societies. In: Hubner JF, *et al*., eds. Proc. of the COIN 2008. LNAI 5428, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 1−16. [doi: 10.1007/978-3-642-00443-8_1]

[35] Liao BS, Huang HX. An argumentation-based flexible agent with dynamic rules of inference. In: Proc. of the ICTAI 2009. New Jersey, 2009. 284−291. [doi: 10.1109/ICTAI.2009.21]

[36] Kakas AC, Moraïtis P. Argumentation based decision making for autonomous agents. In: Proc. of the AAMAS 2003. Melbourne, 2003. 883−890. [doi: 10.1145/860575.860717]

[37] Fox J, Glasspool D, Grecu D, Modgil S, South M, Patkar V. Argumentation-Based inference and decision making-medical perspective. IEEE Intelligence Systems, 2007,22(6):34−41. [doi: 10.1109/MIS.2007.102]

[38] Amgoud L, Vesic S. On revising argumentation-based decision systems. In: Proc. of the ECSQARU. LNAI 5590, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 71−82. [doi: 10.1007/978-3-642-02906-6_8]

[39] Matt PA, Toni F, Vaccari J. Dominant decisions by argumentation agents. In: Proc. of the ArgMAS 2009. LNAI 6057, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 42−59. [doi: 10.1007/978-3-642-12805-9_3]

[40] Parsons S, Sierra CA, Jennings NR. Agents that reason and negotiate by arguing. Journal of Logic and Computation, 1998,8(3): 261−292.

[41] Kraus S, Sycara K, Evenchik A. Reaching agreements through argumentation: A logical model and implementation. Artificial Intelligence, 1998,104(1-2):1−69. [doi: 10.1016/S0004-3702(98)00078-2]

[42] Amgoud L, Parsons S, Maudet N. Argument, dialogue and negotiation. In: Proc. of the 14th ECAI. Berlin, 2000. 338−342.

[43] Rahwan I, Ramchurn SD, Jennings NR, McBurney P, Parsons S, Sonenberg L. Argumentation-based negotiation. The Knowledge Engineering Review, 2003,18(4):343−375. [doi: 10.1017/S0269888904000098]

[44] Amgoud L, Dimopoulos Y, Moraitis P. A general framework for argumentation-based negotiation. In: Proc. of the ArgMAS 2007. LNAI 4946, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 1−17.

[45] Monteserin A, Amandi A. Argumentation-Based negotiation planning for autonomous agents. Decision Support Systems, 2011, 51(3):532−548. [doi: 10.1016/j.dss.2011.02.016]

[46] Amgoud L, Vesic S. A formal analysis of the outcomes of argumentation-based negotiations. In: Proc. of the 10th Int'l Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems. 2011. 1237−1238.

[47] Falappa MA, García AJ, Simari GR. Belief dynamics and defeasible argumentation in rational agents. In: Proc. of the NMR 2004. Whistler, 2004. 164−170.

[48] Coste-Marquis S, Devred C, Konieczny S, Lagasquie-Schiex M, Marquis P. On the merging of Dung's argumentation systems. Artificial Intelligence, 2007,171(10-15):730−753. [doi: 10.1016/j.artint.2007.04.012]

[49] Cayrol C, de St-Cyr FD, Lagasquie-Schiex M. Revision of an argumentation system. In: Proc. of the KR 2008. Sydney, 2008. 124−134.

[50] Boella G, Kaci S, van der Torre L. Dynamics in argumentation with single extensions: Abstraction principles and the grounded extension. In: Proc. of the ECSQARU 2009. LNAI 5590, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 107−118. [doi: 10.1007/978-3-642-02906-6_11]

[51] Amgoud L, Vesic S. Revising option status in argument-based decision systems. Journal of Logic and Computation, 2012,22(5): 1019−1058. [doi: 10.1093/logcom/exq057]

[52] Liao BS, Jin L, Koons RC. Dynamics of argumentation systems: A basic theory. In: Proc. of the 17th Int'l Conf. on Logic for Programming, Artificial Intelligence and Reasoning. Yogyakarta, 2010. http://www.computational-logic.org/lpar-17/Accepted_Papers_files/short_papers.html

[53] Liao BS, Jin L, Koons RC. Dynamics of argumentation systems: A division-based method. Artificial Intelligence, 2011,175(11): 1790−1814. [doi: 10.1016/j.artint.2011.03.006]

[54] Baumann R. Splitting an argumentation framework. In: Delgrande J, Faber W, eds. Proc. of the LPNMR 2011. LNAI 6645, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 40−53.

[55] Lifschitz V, Turner H. Splitting a logic program. In: Proc. of the Principles of Knowledge Representation. Cambridge: MIT Press, 1994. 23−37.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[56] Governatori G, Rotolo A. Defeasible logic: Agency, intention and obligation. In: Lomuscio A, Nute D, eds. Proc. of the 7th Int'l Workshop on Deontic Logic in Computer Science. LNAI 3065, Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. 114−128. [doi: 10.1007/978-3-540-25927-5_8]

[57] García AJ, Simari GR. Defeasible logic programming an argumentative approach. Theory and Practice of Logic Programming, 2004,4 (1):95−138. [doi: 10.1017/S1471068403001674]

[58] Rotstein ND, Moguillansky MO, García AJ, Simari GR. A dynamic argumentation framework. In: Proc. of the 3th Int'l Conf. on Computational Models of Argument. Amsterdam: IOS Press, 2010. 427−438.

[59] Cayrol C, de Saint-Cyr FD, Lagasquie-Schiex M. Change in abstract argumentation frameworks: Adding an argument. Journal of Artificial Intelligence Research, 2010,38:49−84.

[60] Bisquert P, Cayrol C, de Saint-Cyr FD, Lagasquie-Schiex M. Change in argumentation systems: Exploring the interest of removing an argument. In: Benferhat S, Grant J, eds. Proc. of the SUM 2011. LNAI 6929, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 275−288. [doi: 10.1007/978-3-642-23963-2_22]

[61] Baumann R, Brewka G, Dvořák W, Woltran S. Parameterized splitting: A simple modification-based approach. In: Proc. of Correct Reasoning. LNCS 7265, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 57−71. [doi: 10.1007/978-3-642-30743-0_5]

[62] Baumann R, Brewka G, Wong R. Splitting argumentation frameworks: An empirical evaluation. In: Proc. of the TAFA 2011. Barcelona, 2011. 17−31. [doi: 10.1007/978-3-642-29184-5_2]

[63] Rotstein ND, Moguillansky MO, Falappa MA, García AJ, Simari GR. Argument theory change: Revision upon warrant. In: Proc. of the AAAI 2008. Chicago, 2008. 132−137.

[64] Moguillansky MO, Rotstein ND, Falappa MA, García AJ, Simari GR. Argument theory change through defeater activation. In: Proc. of the COMMA 2010. Desenzano del Garda, 2010. 359−366.

[65] Baumann R, Brewka G. Expanding argumentation frameworks: Enforcing and monotonicity results. In: Proc. of the COMMA 2010. Desenzano del Garda, 2010. 75−86.

[66] Baumann R. What does it take to enforce an argument? Minimal change in abstract argumentation. In: Proc. of the 20th European Conf. on Artificial Intelligence. 2012. http://www.informatik.uni-leipzig.de/~baumann/papers/minimalchangesecai-cameraready.pdf

[67] Boella G, Gabbay DM, Perotti A, van der Torre L, Villata S. Conditional labelling for abstract argumentation. In: Proc. of the TAFA. Barcelona, 2011. 232−248. [doi: 10.1007/978-3-642-29184-5_15]

[68] Moguillansky MO, Rotstein ND, Falappa MA, García AJ, Simari GR. Dynamics of knowledge in DeLP through argument theory change, theory and practice of logic programming. 2012. [doi: http://dx.doi.org/10.1017/S1471068411000603]

[69] Falappa MA, García AJ, Kern-Isberner G, Simari GR. Stratified belief bases revision with argumentative inference. Journal of Philosophical Logic, 2011, 1−33. http://www.springerlink.com/content/m4544q736097878p/ [doi: 10.1007/s10992-011-9217-z]

[70] Moguillansky M, Wassermann R, Falappa M. Inconsistent-Tolerant base revision through argument theory change. Logic Journal of the IGPL, 2012,20(1):154−186. [doi: 10.1093/jigpal/jzr029]

[71] Šefránek J. Updates of argumentation frameworks. In: Proc. of the 14th Int'l Workshop on Non-Monotonic Reasoning. 2012. http://www.dbai.tuwien.ac.at/NMR12/proceedings/11_cam.js.nmr2012.Final.pdf

附中文参考文献:

[1] 廖备水,黄华新,高济.支持自治计算的基于可废止逻辑的柔性 Agent.软件学报,2008,19(3):605−620. http://www.jos.org.cn/1000-9825/19/605.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2008.00605]

[21] 熊才权,李德华.一种研讨模型.软件学报,2009,20(8):2181−2190. http://www.jos.org.cn/1000-9825/3465.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03465]

廖备水(1971－),男,福建古田人,博士,副教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能,Agent 与多 Agent 系统,逻辑学.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn