软件学报 ISSN 1000-9825, CODEN RUXUEW
Journal of Software,2012,23(6):1444−1457 [doi: 10.3724/SP.J.1001.2012.04067]

E-mail: jos@iscas.ac.cn
http://www.jos.org.cn
Tel/Fax: +86-10-62562563

一种扩展双极辩论模型*

陈俊良+, 王长春, 陈 超

(国防科学技术大学 信息系统与管理学院 信息系统工程重点实验室,湖南 长沙 410073)

Extended Bipolar Argumentation Model

CHEN Jun-Liang+, WANG Chang-Chun, CHEN Chao

(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

+ Corresponding author: E-mail: chenjunjun26@163.com

Chen JL, Wang CC, Chen C. Extended bipolar argumentation model. *Journal of Software*, 2012,23(6): 1444−1457. http://www.jos.org.cn/1000-9825/4067.htm

Abstract: This paper proposes an extended bipolar argumentation model, named extended bipolar argumentation framework (EBAF). In this model, attack and support relations are considered as two independent semantic relations and there exist recursive interactions among attacks and supports. In other words, there are attacks or supports for the attack and support relations without limits. This paper focuses on the determination of acceptable set of EBAF. First the attack and support relations are separated, and the argumentation framework with only attack and support relations are obtained as results. Second the attacks and supports are considered as entities that convert the recursive attacks and supports into attacks and supports under relation perspective. On this basis, basic semantic concepts and acceptability of EBAF are defined and the determination algorithm of acceptable set of EBAF is provided. Finally, this paper provides a comparison with other relative argumentation models.
Key words: bipolar argumentation model; recursive attack and support; argumentation semantics; extension determination algorithm

摘 要: 提出一种扩展双极辩论模型 EBAF(extended bipolar argumentation framework).该模型不仅包括攻击和支援两种独立的语义关系,还允许攻击和支援的递归交互,即对攻击和支援关系进行攻击或支援,且递归次数不受限制.围绕该模型的可接受集合的确定问题,首先将该模型中的攻击和支援关系进行分离,得到攻击辩论框架和支援辩论框架;然后将攻击关系和支援关系作为实体,把递归攻击和递归支援转化为关系视角下的攻击和支援.在此基础上,定义了 EBAF 的基本语义概念和可接受集合,并给出了可接受集合的确定算法.最后将 EBAF 与其他相关辩论模型进行了比较.
关键词: 双极辩论模型;递归攻击与支援;辩论语义;可接受集合确定算法
中图法分类号: TP18 **文献标识码**: A

* 基金项目: 国家自然科学基金(91024006); 国家教育部博士点基金(20104307120020)
收稿时间: 2011-04-19; 定稿时间: 2011-06-20; jos 在线出版时间: 2011-09-23
CNKI 网络优先出版: 2011-09-23 16:59, http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2560.TP.20110923.1659.001.html

辩论(argumentation)是主体间为了消除分歧、谋求共识的一种基于语言的交互行为[1].人们通过辩论可以进行逻辑推理,证明和辩护自己的观点,反驳他人的观点.辩论模型的研究可分为两个方面[1,2]:对日常辩论的建模和用辩论对形式系统的建模.前者是对现实生活中人们辩论实践的抽象,用以描述实际辩论推演过程,主要用于法律推理、政策制定、辩论思维的训练以及群体研讨支持系统[3−7]的开发等;后者则是利用辩论的概念为形式系统的建模提供基础,主要用于非单调推理、常识推理、逻辑程序设计以及多 Agent 对话等.

最具影响力的辩论模型是 Dung 提出的抽象辩论框架(abstract argumentation framework,简称 AAF)[8],该框架由论据集(argument)和论据间的攻击关系(attacks)组成,其最大特点是可根据论据间的攻击关系确定具有不同语义的可接受论据集.近年来,国内外学者对抽象辩论框架进行了扩展,提出了许多扩展辩论模型,如基于偏好的辩论框架(preference-based argumentation framework,简称 PAF)[9]、基于价值的辩论框架(value-based argumentation framework,简称 VAF)[10]、双极辩论框架(bipolar argumentation framework,简称 BAF)[11,12]、扩展辩论框架(extended argumentation framework,简称 EAF)[13,14]、赋权辩论框架(weighted argumentation framework,简称 WAF)[15,16]、带递归攻击的辩论框架(argumentation framework with recursive attacks,简称 AFRA)[17].这些辩论模型主要用于对形式系统的建模,也有用于实际辩论研讨过程的建模,如 VAF 用于政策的辩论研讨[18].

辩论模型也是群体研讨支持系统的理论基础,最常用于研讨支持系统的辩论模型是 Toulmin 模型[19]和 IBIS 模型[20].现有的多数研讨模型是 Toulmin 模型和 IBIS 模型的结合物[4],但是这类模型没有提供较好的论据评价方法.针对这一问题,文献[3]将 Toulmin 模型和 Dung 的抽象辩论框架相结合,提出了一种研讨模型,既能够表示论据的内部结构,又能够计算论据的可接受性,给出研讨结果.

本文提出一种扩展双极辩论模型 EBAF(extended bipolar argumentation framework).该模型涉及了近年来辩论模型研究的两个主要方向:一是同时考虑攻击和支援两种语义关系;二是对偏好信息的表示与推理.一方面,在实际的辩论研讨中,攻击和支援是相互独立的语义关系[4,7,11,21,22].文献[3]的研讨模型考虑了这两种语义关系,在计算可接受论据集时,先将模型中的支援论据和反驳关系略去,得到对话树,再运用 Dung 的方法计算对话树的最大可接受论据集 S,然后再考虑支援论据和存在反驳关系的论据(即相互攻击的论据),将存在反驳关系的论据从所有对话树的最大可接受论据集的并集中删除,并加入未受到 S 攻击的支援论据.但该方法并未说明最后得到的可接受论据集是否具有外部一致性[11],且对存在反驳关系的论据的处理略显简单.文献[11,22]提出的双极辩论框架(BAF)同时考虑了攻击和支援两种语义关系,并扩展了论据集一致性的概念和可接受论据集的定义.另一方面,对偏好和价值的推理已成为辩论模型研究的重要方向.主体的偏好或价值信息如何表示和推理是这类模型关注的主要问题.文献[9]提出的 PAF 直接把论据间偏好序关系增加到框架中,然后在偏好序关系的基础上定义击败关系.文献[10]提出的 VAF 把偏好信息表示为价值偏好序,并考虑了特定主体的价值偏好.VAF 模型被成功用于政策的辩论研讨[10,18,23].文献[13,14]提出的 EAF 把偏好信息表示为论据对攻击关系的攻击,文献[17]在此基础上做进一步扩展,提出 AFRA,允许对攻击关系的递归攻击.然而,这些模型只考虑了论据间的攻击语义,并未考虑论据间的支持语义.

本文提出的扩展双极辩论模型 EBAF 不仅包括攻击和支援关系,还允许攻击和支援关系的递归交互,即对攻击和支援关系进行攻击或支援,且递归次数不受限制.EBAF 模型综合了 BAF 和 AFRA 模型的特点,不仅贴近于实际的劝说型研讨过程,而且具有较高的抽象性和可计算性,因此可作为研讨支持系统的研讨模型,也可用于形式系统建模.

本文第 1 节回顾 AAF,BAF 和 AFRA 模型的相关定义.第 2 节给出扩展双极辩论模型 EBAF,并分析基本论据和关系论据间的区别.第 3 节~第 5 节讨论 EBAF 的可接受集.第 3 节给出 EBAF 的两个预处理:一是将 EBAF 中的攻击和支援进行分离,诱导出攻击扩展辩论框架和支援扩展辩论框架;二是把攻击和支援语义关系作为实体,将原来的攻击和支援转化为语义关系视角下的攻击和支援.第 4 节给出 EBAF 的基本语义概念,包括相容性、可接受性、特征函数和可容许集.第 5 节定义 EBAF 的具有不同语义的可接受集,即扩展,并给出扩展确定算法.第 6 节将 EBAF 模型与 BAF 和 AFRA 模型进行比较.第 7 节对本文进行总结.

1 AAF,BAF 与 AFRA

Dung 将 AAF 定义为二元组$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}\rangle$,其中,$\mathcal{A}$是论据集,$\mathcal{R}\subseteq\mathcal{A}\times\mathcal{A}$表示二元攻击关系.AAF 的基本语义概念和可接受论据集(称为扩展)的定义如下[8].

定义 1. 设 $AAF=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}\rangle,S\subseteq\mathcal{A},A\in\mathcal{A}$,那么:

1) 若不存在 $A,B\in S$,满足 A 攻击 B,则称 S 是无冲突的;

2) 如果对于$\forall B\in\mathcal{A}$,B 攻击 A,存在 $C\in S$,C 攻击 B,则称集合 S 为 A 辩护,或者称 A 对于论据集 S 是可接受的;

3) 如果 S 是无冲突的,且 S 为 S 中所有论据辩护,则 S 是可容许集.

定义 2. 设 $AAF=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}\rangle,S\subseteq\mathcal{A}$,那么:

1) S 是首选扩展(preferred extension),当且仅当 S 是关于集合包含($\subseteq$)的最大可容许集;

2) S 是稳定扩展(stable extension),当且仅当 S 无冲突的,且 S 攻击不属于 S 的所有其他论据;

3) S 是完全扩展(completed extension),当且仅当 S 是可容许的,且被 S 所辩护的论据 A 都属于 S;

4) S 是可靠扩展(grounded extension),当且仅当 S 是关于集合包含的最小完全扩展.

BAF 是对 AAF 语义关系类型的扩展,增加了支援关系,它的相关定义如下[11].

定义 3(BAF). BAF 为三元组$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_a,\mathcal{R}_s\rangle$,其中,$\mathcal{A}$是论据集,$\mathcal{R}_a,\mathcal{R}_s\subseteq\mathcal{A}\times\mathcal{A}$,$\mathcal{R}_a$是论据上的攻击关系,$\mathcal{R}_s$是论据上的支援关系.

设 $A,B\in\mathcal{A}$,A 攻击 B 记为 $A\rightarrow B$,A 支援 B 记为 $A\multimap B$.支援关系的引入扩展了 BAF 中的攻击语义关系,除直接攻击外,还有支援性攻击和间接攻击.设 $A_i\in\mathcal{A},i=1,\dots,n,n\geqslant 2$,从 $A_1\sim A_n$ 的论据序列记为 $A_1\twoheadrightarrow_1 A_2\dots A_{n-1}\twoheadrightarrow_{n-1}A_n$,那么:

1) 若$\twoheadrightarrow_{n-1}=\rightarrow$,其余的关系全为支援关系,则称 A_1 支援性攻击 A_n;

2) 若$\twoheadrightarrow_1=\rightarrow$,其余的关系全为支援关系,则称 A_1 间接攻击 A_n;

3) 若序列中关系全为支援关系,则称 A_1 支援 A_n.

定义 4.设 $BAF=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_a,\mathcal{R}_s\rangle,S\subseteq\mathcal{A},A\in\mathcal{A}$,那么:

1) 若$\exists B\in\mathcal{A}$,满足 B 支援性攻击 A 或者 B 间接性攻击 A,则称集合 S 攻击 A;

2) 若$\exists B\in\mathcal{A}$,满足 B 支援 A,则称集合 S 支援 A;

3) 如果对于$\forall C\in\mathcal{A}$,$\{C\}$攻击 A,存在 $B\in S$,$\{B\}$攻击 C,则称集合 S 为 A 辩护.

定义 5. 设 $BAF=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_a,\mathcal{R}_s\rangle,S\subseteq\mathcal{A}$,那么:

1) 如果$\nexists A,B\in S$,$\{A\}$攻击 B,则称 S 是无冲突的;

2) 如果$\nexists B\in\mathcal{A}$,满足 S 攻击 B 且 S 支援 B,或者满足 S 攻击 B 且 $B\in S$,则称 S 是安全的.

定义 6. 设 $BAF=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_a,\mathcal{R}_s\rangle,S\subseteq\mathcal{A}$,那么:

1) 如果 S 是无冲突的,且为 S 中的所有元素辩护,则称 S 是无冲突可容许的;

2) 如果 S 是安全的,且为 S 中的所有元素辩护,则称 S 是安全可容许的.

定义 7. 设 $BAF=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_a,\mathcal{R}_s\rangle,S\subseteq\mathcal{A}$,那么:

1) S 是无冲突首选扩展,当且仅当 S 是关于集合包含的最大无冲突可容许集;

2) S 是安全首选扩展,当且仅当 S 是关于集合包含的最大安全可容许集.

AFRA 是对 AAF 攻击关系的扩展,允许论据对攻击关系进行递归攻击,它的相关定义如下[17].

定义 8(AFRA). AFRA 是二元组$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}\rangle$,其中,$\mathcal{A}$是论据集,$\mathcal{R}$是攻击序对$(A,\mathcal{X})$的集合,满足 $A\in\mathcal{A}$且$(\mathcal{X}\in\mathcal{R}$或$\mathcal{X}\in\mathcal{A})$.

处理 AFRA 的关键在于如何处理论据对攻击关系的攻击.为此,将攻击关系抽象成与论据同一层次的实体元素,定义元素(包括论据和攻击关系)之间的攻击.设$\alpha=\langle A,\mathcal{X}\rangle\in\mathcal{R}$,称 A 是α的源,记为 $A=src(\alpha)$,$\mathcal{X}$是α的目标,记为$\mathcal{X}=tag(\alpha)$.设$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}\rangle$是 AFRA,$\alpha\in\mathcal{R},\mathcal{V}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}$,如果$\mathcal{V}=tag(\alpha)$或者 $tag(\alpha)=src(\mathcal{V})$,则称$\alpha$在关系视角下攻击$\mathcal{V}$.通过元素$\alpha$与$\mathcal{V}$之间的这种攻击关系,可将 AFRA 转化为 AAF.

定义 9. 设$\Gamma=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}\rangle$是 AFRA,则与之对应的 AAF 为$\Gamma_{AAF}=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}'\rangle$,定义如下:

1) $\mathcal{A}'=\mathcal{A}\cup\mathcal{R}$;

2) $\mathcal{R}'=\{(\mathcal{V},\mathcal{W})|\mathcal{V},\mathcal{W}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}$且$\mathcal{V}$在关系视角下攻击$\mathcal{W}\}$.

也就是说,Γ中的论据与攻击边相当于与之对应的Γ_{AAF}中的论据,而Γ中的关系视角下的攻击关系相当于Γ_{AAF}中的攻击关系.因此,AFRA 中的基本语义概念和扩展都可在 AAF 的基础上较容易得出,详见文献[17].

2 EBAF 模型

2.1 模型定义

定义 10(EBAF). 扩展双极辩论框架是三元组$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,其中,$\mathcal{A}$是论据集,$\mathcal{R}_{sup}$是支援语义关系集,$\mathcal{R}_{att}$是攻击语义关系集.$\mathcal{R}_{sup}$和$\mathcal{R}_{att}$中的元素是序对$(A,\mathcal{X})$,满足$A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$.

将$\mathcal{R}_{sup}$中的元素称为支援,$\mathcal{R}_{att}$中的元素称为攻击,$\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$中的元素统称为关系.设 $r=(A,\mathcal{X})\in\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$,称 A 是 r 的源,记为 $src(r)=A$;$\mathcal{X}$是 r 的目标,记为 $tag(r)=\mathcal{X}$.下文将$(A,\mathcal{X})\in\mathcal{R}_{sup}$简记为$(A,\mathcal{X})^+$或 $A\multimap\mathcal{X}$,$(A,\mathcal{X})\in\mathcal{R}_{att}$简记为$(A,\mathcal{X})^-$或 $A\rightarrow\mathcal{X}$.

例 1:设有$\Delta_1=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,其中,$\mathcal{A}=\{A,B,\ldots,R\}$,$\mathcal{R}_{sup}=\{r_3,r_6,r_{10},r_{11},r_{15}\}$,$\mathcal{R}_{att}=\{r_1,r_2,r_4,r_5,r_7,r_8,r_9,r_{12},r_{13},r_{14},r_{16},r_{17},r_{18}\}$,$r_1=(A,B)^-$,$r_2=(B,A)^-$,$r_3=(C,A)^+$,$r_4=(D,A)^-$,$r_5=(K,r_2)^-$,$r_6=(E,B)^+$,$r_7=(F,B)^-$,$r_8=(I,r_7)^-$,$r_9=(G,D)^-$,$r_{10}=(L,r_9)^+$,$r_{11}=(H,E)^+$,$r_{12}=(J,r_{11})^-$,$r_{13}=(M,r_{12})^-$,$r_{14}=(N,r_3)^-$,$r_{15}=(O,N)^+$,$r_{16}=(P,D)^-$,$r_{17}=(Q,L)^-$,$r_{18}=(R,H)^-$.

将论据表示为节点,支援和攻击关系表示为边,可将Δ表示为图的形式,称为论据交互图,记为$\mathcal{G}_\Delta$.图 1 给出了例 1 的$\mathcal{G}_{\Delta_1}$.

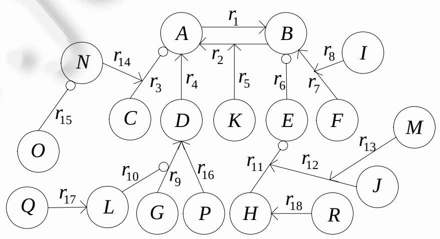

Fig.1 Argument interaction graph $\mathcal{G}_{\Delta_1}$ of Example 1

图 1 例 1 的论据交互图$\mathcal{G}_{\Delta_1}$

2.2 基本论据和关系论据

设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$, $r=(A,\mathcal{X})\in\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$,若$\mathcal{X}\in\mathcal{A}$,则称 A 为基本论据,它表示论据 A 对论据$\mathcal{X}$的攻击或支援;若$\mathcal{X}\in\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$,则称论据 A 为关系论据,它表示论据 A 对关系$\mathcal{X}$的攻击或支援.关系论据更具体地可写成$(A,(B,C))$,$C\in\mathcal{A}$或$(A,(B,r))$,$r\in\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$.图 2 给出了$(A,(B,C))$,$C\in\mathcal{A}$的 4 种情况,其中,图 2(a)是已有类型[14,17],图 2(b)~图 2(d)是扩展类型.图 2(a)表示 A 反对$(B,C)^-$,B 不能对 C 实施成功的攻击[14,17].此时,论据 A 可表示偏好 $C\succ B$[14]或价值偏好 $Val(C)\succ Val(B)$[10],也可以表示反对$(B,C)^-$成立的其他陈述.图 2(b)表示 A 支持$(B,C)^-$,B 对 C 的攻击受到了论据 A 的支援,B 对 C 的攻击更加肯定.此时,论据 A 可表示偏好信息 $C\succ B$,也可以是支持$(B,C)^-$成立的其他陈述.以此类推,图 2(c)表示 A 反对$(B,C)^+$,图 2(d)表示 A 支持$(B,C)^+$.

基本论据与关系论据在语义上存在明显的区别.考虑论据的内部结构,论据可表示为二元组$\langle\mathcal{H},h\rangle$[3],$\mathcal{H}$表示前提集,$h$ 表示结论,且$\mathcal{H}\vdash h$.对于基本论据 A,$A\rightarrow B$ 有两种情况,如图 3(a)所示:1) $\exists\phi\in\mathcal{H}_B,h_A\equiv\neg\phi$,即 A 削弱 B 的前提;2) $h_A\equiv\neg h_B$,即 A 反驳 B 的结论(此时 A 与 B 相互攻击).$A\multimap B$ 也有两种情况,如图 3(b)所示:1) $\exists\phi\in\mathcal{H}_B,h_A\equiv\phi$,即 A 支持 B 的前提;2) $h_A\equiv h_B$,即 A 支持 B 的结论.而对于关系论据 A 而言,比如 $A\rightarrow(B\rightarrow C)$,$A$ 既不是削弱 B 的前提,也不是反驳 B 的结论,而是反对 B 对 C 的攻击,如图 3(c)所示.文献[14,17]中的示例已经说明这一点.同理,对

于 $A\multimap(B\rightarrow C)$,$A$ 既不是支持 B 的前提,也不是支持 B 的结论,而是支持 B 对 C 的攻击,如图 3(d)所示.

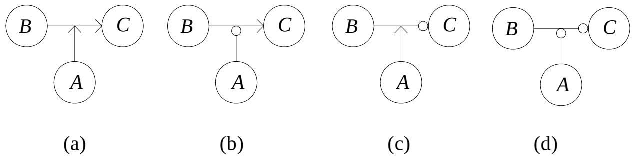

Fig.2 Four types of relation argument

图 2 关系论据的 4 种类型

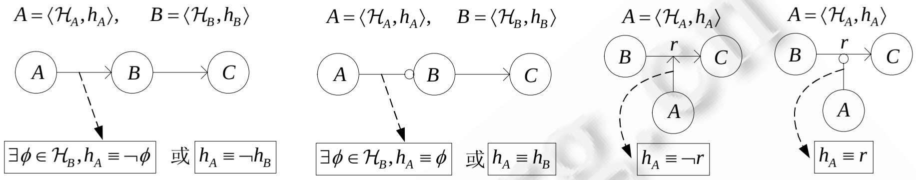

Fig.3 Basic argument and relation argument

图 3 基本论据与关系论据

3 EBAF 的预处理

3.1 EBAF的转化

为计算 EBAF 的可接受论据集,本文首先将$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$的支援和攻击关系进行分离,将其转化为$\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$.EBAF 中同时存在支援和攻击关系,在进行转化时需要考虑支援关系存在的情况下,两个元素间是否存在攻击语义关系.文献[11,12]定义了 BAF 中两种含有支援的攻击关系:支援性攻击和间接性攻击.与 BAF 不同的是,EBAF 引入了对关系的攻击和支援,需要做进一步扩展.

定义 11(路). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,$A\in\mathcal{A}$,$\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$,从 A 到$\mathcal{X}$的路是指序列$\mathcal{P}=X_1\twoheadrightarrow_1X_2\twoheadrightarrow_2\ldots\twoheadrightarrow_{n-1}X_n$,其中,$X_1=A,X_n=\mathcal{X},\twoheadrightarrow_i\in\{\multimap,\rightarrow\},i=1,\ldots,n-1,X_j\in\mathcal{A},j=2,\ldots,n-1$ 且 $X_k\neq X_l,k\neq l$,记为$\mathcal{P}(A,\mathcal{X})$或 $A\twoheadrightarrow\mathcal{X}$.

$\mathcal{P}(A,\mathcal{X})$的长度是指从 A 到$\mathcal{X}$的序列$\mathcal{P}$的长度,若$\mathcal{P}(A,\mathcal{X})=X_1\twoheadrightarrow_1X_2\twoheadrightarrow_2\ldots\twoheadrightarrow_{n-1}X_n$,则$\mathcal{P}(A,\mathcal{X})$的长度为 $n-1$,记为 $Len(\mathcal{P}(A,\mathcal{X}))=n-1$.

定义 12(间接攻击). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,$A\in\mathcal{A}$,$\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$,若存在从 A 到$\mathcal{X}$的路$\mathcal{P}=X_1\twoheadrightarrow_1X_2\twoheadrightarrow_2\ldots\twoheadrightarrow_{n-1}X_n$,$n\geqslant3$,$X_1=A,X_n=\mathcal{X}$,满足:1) $\twoheadrightarrow_i=\multimap$, $i=1,\ldots,n-2$,$\twoheadrightarrow_{n-1}=\rightarrow$;或者 2) $\twoheadrightarrow_1=\rightarrow$,$\twoheadrightarrow_i=\multimap$,$i=2,\ldots,n-1$,则称 A 间接攻击$\mathcal{X}$,记为 $A\rightsquigarrow\mathcal{X}$.

$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$的间接攻击集合记为$\mathcal{IR}_{att}=\{(A,\mathcal{X})|A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att},A\rightsquigarrow\mathcal{X}\}$.

特别地,直接攻击相当于长度为 1 的间接攻击.

定义 13(间接支援). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,$A\in\mathcal{A}$,$\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$,若存在从 A 到$\mathcal{X}$的路$\mathcal{P}=X_1\twoheadrightarrow_1X_2\twoheadrightarrow_2\ldots\twoheadrightarrow_{n-1}X_n$,$n\geqslant3$,$X_1=A,X_n=\mathcal{X}$,满足$\twoheadrightarrow_i=\multimap$,$i=1,\ldots,n-1$,则称 A 间接支援$\mathcal{X}$,记为 $A\looparrowright\mathcal{X}$.

$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$的间接支援集合记为$\mathcal{IR}_{sup}=\{(A,\mathcal{X})|A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att},A\looparrowright\mathcal{X}\}$.

特别地,直接支援相当于长度为 1 的间接支援.

定义 14(对间接攻击的攻击). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,$A\in\mathcal{A}$,$\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$,$A\rightsquigarrow\mathcal{X}$且假设$\mathcal{P}(A,\mathcal{X})=X_1\twoheadrightarrow_1X_2\twoheadrightarrow_2\ldots\twoheadrightarrow_{n-1}X_n$,$n\geqslant3$,若$\exists B\in\mathcal{A}$,$B\rightarrow(X_i\twoheadrightarrow_iX_{i+1})$(或 $B\rightsquigarrow(X_i\twoheadrightarrow_iX_{i+1})$),$1\leqslant i\leqslant n-1$,则称 B 攻击 $A\rightsquigarrow\mathcal{X}$,记为 $B\rightarrow(A\rightsquigarrow\mathcal{X})$(或 $B\rightsquigarrow(A\rightsquigarrow\mathcal{X})$).

$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$中对间接攻击的攻击集合记为$\mathcal{IAR}_{att}=\{(A,\mathcal{X})|A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{IR}_{att},A\rightarrow\mathcal{X}$或 $A\rightsquigarrow\mathcal{X}\}$.

定义 15(对间接支援的攻击). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,$A\in\mathcal{A}$,$\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att}$,$A\looparrowright\mathcal{X}$且假设$\mathcal{P}(A,\mathcal{X})=X_1\multimap_1X_2\multimap_2\ldots$

$\multimap_{n-1}X_n,n\geqslant 3$,若$\exists B\in\mathcal{A},B\rightarrow(X_i\multimap X_{i+1})$,(或 $B\rightsquigarrow(X_i\multimap X_{i+1})$),$1\leqslant i\leqslant n-1$,则称 B 攻击 $A\looparrowright\mathcal{X}$,记为 $B\rightarrow(A\looparrowright\mathcal{X})$(或 $B\rightsquigarrow(A\looparrowright\mathcal{X})$).

$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$中对间接支援的攻击集合记为$\mathcal{ISR}_{att}=\{(A,\mathcal{X})|A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{IR}_{sup},A\rightarrow\mathcal{X}$或 $A\rightsquigarrow\mathcal{X}\}$.

定义 16(对间接攻击的支援). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle,A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att},A\rightsquigarrow\mathcal{X}$且假设$\mathcal{P}(A,\mathcal{X})=X_1\twoheadrightarrow_1X_2\twoheadrightarrow_2\ldots\twoheadrightarrow_{n-1}X_n,n\geqslant 3$,若$\exists B\in\mathcal{A},B\multimap(X_i\twoheadrightarrow_iX_{i+1})$(或 $B\looparrowright(X_i\twoheadrightarrow_iX_{i+1})$),$1\leqslant i\leqslant n-1$,则称 B 支援 $A\rightsquigarrow\mathcal{X}$,记为 $B\multimap(A\rightsquigarrow\mathcal{X})$(或 $B\looparrowright(A\rightsquigarrow\mathcal{X})$).

$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$中对间接攻击的支援集合记为$\mathcal{IAR}_{sup}=\{(A,\mathcal{X})|A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{IR}_{att},A\multimap\mathcal{X}$或 $A\looparrowright\mathcal{X}\}$.

定义 17(对间接支援的支援). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle,A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{R}_{att},A\looparrowright\mathcal{X}$且假设$\mathcal{P}(A,\mathcal{X})=X_1\multimap_1X_2\multimap_2\ldots\multimap_{n-1}X_n,n\geqslant 3$,若$\exists B\in\mathcal{A},B\multimap(X_i\multimap X_{i+1})$(或 $B\looparrowright(X_i\multimap X_{i+1})$),$1\leqslant i\leqslant n-1$,则称 B 支援 $A\looparrowright\mathcal{X}$,记为 $B\multimap(A\looparrowright\mathcal{X})$(或 $B\looparrowright(A\looparrowright\mathcal{X})$).

$\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$中对间接支援的支援集合记为$\mathcal{ISR}_{sup}=\{(A,\mathcal{X})|A\in\mathcal{A},\mathcal{X}\in\mathcal{IR}_{sup},A\multimap\mathcal{X}$或 $A\looparrowright\mathcal{X}\}$.

例 1(续):在Δ_1 中,$\mathcal{P}_1=C\multimap A\rightarrow B,\mathcal{P}_2=H\multimap E\multimap B$,因此 $C\rightsquigarrow B,H\looparrowright B$;又因$\mathcal{P}_3=N\rightarrow(C\multimap A),\mathcal{P}_4=L\rightarrow(H\multimap E)$,所以$N\rightarrow(C\rightsquigarrow B),L\rightarrow(H\looparrowright B)$.

定义 18. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出的支援扩展辩论框架$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和攻击扩展辩论框架$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$定义如下:

1) $\mathcal{A}'=\mathcal{A}\cup\{\mathcal{X}\in\mathcal{R}_{att}\cup\mathcal{IR}_{att}|A\in\mathcal{A},A\multimap\mathcal{X}$或 $A\looparrowright\mathcal{X}\},\mathcal{R}^+=\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{IR}_{sup}\cup\mathcal{IAR}_{sup}\cup\mathcal{ISR}_{sup}$;

2) $\mathcal{A}''=\mathcal{A}\cup\{\mathcal{X}\in\mathcal{R}_{sup}\cup\mathcal{IR}_{sup}|A\in\mathcal{A},A\rightarrow\mathcal{X}$或 $A\rightsquigarrow\mathcal{X}\},\mathcal{R}^-=\mathcal{R}_{att}\cup\mathcal{IR}_{att}\cup\mathcal{IAR}_{att}\cup\mathcal{ISR}_{att}$.

根据定义 18,易得$\mathcal{A}'\cup\mathcal{A}''\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-=\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$.

例 1(续):根据定义 18,对$\Delta_1=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$进行转化,得到 $\Delta_1^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$ 和 $\Delta_1^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,其中,

$$\mathcal{A}'=\mathcal{A}\cup\{r_9\},\mathcal{R}^+=\mathcal{R}_{sup}\cup\{H\looparrowright B\},\mathcal{A}''=A\cup\{r_3,r_{11},p_6\},$$

$$\begin{aligned}\mathcal{R}^-=\mathcal{R}_{att}\cup\{&O\rightsquigarrow r_3,Q\rightsquigarrow r_9,C\rightsquigarrow B,H\rightsquigarrow A,E\rightsquigarrow A,R\rightsquigarrow E,R\rightsquigarrow B,N\rightarrow(C\rightsquigarrow B),\\&O\rightsquigarrow(C\rightsquigarrow B),J\rightarrow(H\rightsquigarrow A),J\rightarrow(H\looparrowright B),J\rightarrow(R\rightsquigarrow E),\\&J\rightarrow(R\rightsquigarrow B),K\rightarrow(H\rightarrow A),K\rightarrow(E\rightarrow A),M\rightarrow(J\rightarrow(H\rightsquigarrow\mathcal{A})),\\&M\rightarrow(J\rightarrow(H\looparrowright B)),M\rightarrow(J\rightarrow(R\rightsquigarrow E)),\ M\rightarrow(J\rightarrow(R\rightsquigarrow B))\},\end{aligned}$$

与Δ^+和Δ^-相对应的$\mathcal{G}_{\Delta_1}^+$ 和 $\mathcal{G}_{\Delta_1}^-$ 如图 4 所示,图中$\rightarrow$表示攻击,$\multimap$表示支援.

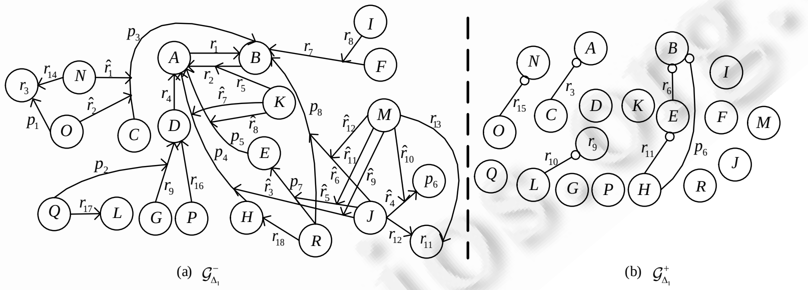

Fig.4 $\mathcal{G}_{\Delta_1}^-$ and $\mathcal{G}_{\Delta_1}^+$ derived from Δ_1

图 4 Δ_1诱导出的$\mathcal{G}_{\Delta_1}^-$ 和$\mathcal{G}_{\Delta_1}^+$

(a) $\mathcal{G}_{\Delta_1}^-$ (b) $\mathcal{G}_{\Delta_1}^+$

定理 1. 给定$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出的$\Delta^+$和$\Delta^-$是唯一的.

证明:对于给定的$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,$\Delta$的$\mathcal{IR}_{sup}$和$\mathcal{IR}_{att}$是唯一的,进而$\mathcal{IAR}_{sup},\mathcal{IAR}_{att},\mathcal{ISR}_{sup}$和$\mathcal{ISR}_{att}$也是唯一的,因此,$\mathcal{R}^+$和$\mathcal{R}^-$是唯一的.由于 $\mathcal{R}_{sup}$ 和 $\mathcal{IR}_{sup}$ 是唯一的,所以它们的目标节点也是唯一的,根据定义 18,$\mathcal{A}'$ 是唯一的;同理,由于 $\mathcal{R}_{att}$ 和 $\mathcal{IR}_{att}$ 是唯一的,$\mathcal{A}''$ 也是唯一的. □

3.2 关系视角下的攻击和支援

通过定义 18,将$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$诱导得出的$\Delta^-$和$\Delta^+$分别表示了$\Delta$中所有的攻击和支援关系,包含论据对论据以及论据对关系(攻击和支援)的攻击和支援,确定可接受集的难点在于如何处理论据对关系的攻击和支援.文献[17]把攻击关系 r 作为实体,从关系的角度将 $A\rightarrow\mathcal{X}$转化为 $r_{A\mathcal{X}}\rightarrow_R\mathcal{X}$.$\rightarrow_R$表示关系视角下的攻击,较好地解决了攻击间的递归关系.本文将这种思想应用于Δ,从关系的角度处理Δ中的攻击和支援.

由$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$和$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$的定义,易证$\mathcal{R}^-$中的元素$(A,\mathcal{X})$满足 $A\in\mathcal{A}'',\mathcal{X}\in\mathcal{A}''\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{R}^+$中的元素$(A,\mathcal{X})$满足$A\in\mathcal{A}',\mathcal{X}\in\mathcal{A}'\cup\mathcal{R}^+$.

定义 19(关系视角下的攻击). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\alpha\in\mathcal{R}^-$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,称$\alpha$攻击$\mathcal{U}$,当且仅当 $tag(\alpha)=\mathcal{U}$或者 $tag(\alpha)=src(\mathcal{U})$.这种攻击关系称为关系视角下的攻击,简称关系型攻击,记为$\alpha\rightarrow_R\mathcal{U}$.

例 1(续):由图 4(a)可得 $r_9\rightarrow_R D,r_9\rightarrow_R r_4,\hat{r}_1\rightarrow_R p_3,p_2\rightarrow_R r_9$;并由图 4(a)和图 4(b)可得 $r_{17}\rightarrow_R r_{10}$.

定义 20(关系视角下的支援). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\alpha\in\mathcal{R}^+$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,称$\alpha$支援$\mathcal{U}$,当且仅当 $tag(\alpha)=\mathcal{U}$或者 $tag(\alpha)=src(\mathcal{U})$.这种支援关系称为关系视角下的支援,简称关系型支援,记为$\alpha\multimap_R\mathcal{U}$.

例 1(续).由图 4(b)可得 $r_3\multimap_R A,r_{11}\multimap_R E,r_{11}\multimap_R r_6,p_6\multimap_R B$;并由 4(a)和图 4(b)可得 $r_{15}\multimap_R\hat{r}_1$.

需要注意的是,由定义 19 和定义 20 给出的关系视角下的攻击和支援不只是$\mathcal{R}^-$和$\mathcal{R}^+$,还包括$\alpha\rightarrow_R\beta$,满足$\alpha\in\mathcal{R}^-,\beta\in\mathcal{R}^+,tag(\alpha)=src(\beta)$,以及$\alpha\multimap_R\beta$,满足$\alpha\in\mathcal{R}^+,\beta\in\mathcal{R}^-,tag(\alpha)=src(\beta)$.假设有 $A\rightarrow B\rightarrow C$,在关系视角下,$r_{AB}$ 代表 A 攻击 B 以及从 B 引出的 r_{BC}[17],即 $r_{AB}\rightarrow_R B$ 和 $r_{AB}\rightarrow_R r_{BC}$.以此类推,若有 $A\rightarrow B\multimap C$,由它诱导出的$\Delta^-$为 $A\rightarrow B$ 和 $A\rightsquigarrow C$,Δ^+为 $B\multimap C$,在关系视角下,$r_{AB}(A\rightarrow B)$代表 A 攻击 B 以及从 B 引出的 $r_{BC}(B\multimap C)$,即 $r_{AB}\rightarrow_R B$ 和 $r_{AB}\rightarrow_R r_{BC}$.

定义 21(关系视角下的叶元素). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,若$\nexists\alpha\in\mathcal{R}^-,\alpha\rightarrow_R\mathcal{U}$,且$\nexists\beta\in\mathcal{R}^+,\beta\multimap_R\mathcal{U}$,则称$\mathcal{U}$为$\Delta$的叶元素,并记$\Delta$的叶元素的全体为 $leaf_R(\Delta)$.

4 EBAF 的基本语义概念

本节从关系角度讨论 EBAF 的基本语义概念.通过将原有攻击和支援转化为关系视角下的攻击和支援,关系(攻击和支援)成为$\rightarrow_R$和$\multimap_R$的源和目标,论据成为$\rightarrow_R$和$\multimap_R$的目标.因此,关系视角下 EBAF 的基本语义概念围绕集合$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$进行定义.

4.1 集合的相容性

在 EBAF 中,由于支援与攻击同时存在,除了需要考虑集合内部的无冲突,还需考虑了集合的外部相容性[11].集合的无冲突是指集合内的元素不存在攻击关系,也称为内部相容性;集合的外部相容性是指集合内的元素不同时攻击和支援同一元素,也称为无分歧.

定义 22(无冲突). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{S}$是无冲突的,当且仅当$\nexists\mathcal{U},\mathcal{V}\in\mathcal{S}$,满足$\mathcal{U}\rightarrow_R\mathcal{V}$.

定义 23(无分歧). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{S}$是无分歧的,当且仅当$\nexists\mathcal{U},\mathcal{V}\in\mathcal{S},\mathcal{W}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,使得$\mathcal{U}\multimap_R\mathcal{W}$和$\mathcal{V}\rightarrow_R\mathcal{W}$同时成立.

定义 24(相容). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{S}$是相容的,当且仅当$\mathcal{S}$是无冲突的,且是无分歧的.

命题 1. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,若$\mathcal{S}$是无冲突的,且是关于关系型支援$\multimap_R$的闭包,则$\mathcal{S}$是相容的.

证明:根据定义 24,要证明无冲突集合$\mathcal{S}$是相容的,只需证明$\mathcal{S}$是无分歧的.假设无冲突集合$\mathcal{S}$不是相容的,即$\exists\mathcal{U},\mathcal{V}\in\mathcal{S},\mathcal{W}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,满足$\mathcal{U}\multimap_R\mathcal{W}$且$\mathcal{V}\rightarrow_R\mathcal{W}$;因为$\mathcal{S}$是关于$\multimap_R$ 的闭包,若$\mathcal{U}\in\mathcal{S}$且$\mathcal{U}\multimap_R\mathcal{W}$,则必有$\mathcal{W}\in\mathcal{S}$;又因为

$\mathcal{V}\in\mathcal{S},\mathcal{V}\rightarrow_R\mathcal{W}$,与$\mathcal{S}$是无冲突的相矛盾,因此假设不成立,$\mathcal{S}$是相容的. □

例 1(续):在Δ_1中,集合$\mathcal{S}_1=\{C,L,r_3,r_{10}\}$,$\mathcal{S}_2=\{C,H,p_3,p_6\}$是无冲突的;$\mathcal{S}_1$是无分歧的,但是$\mathcal{S}_2$是有分歧的,因为$p_3\rightarrow_R B,p_6\multimap_R B$,如图 4 所示.

4.2 可接受和特征函数

在定义可接受的概念之前,首先给出下列关于集合$\mathcal{S}$与元素$\mathcal{U}$的几个定义.

定义 25(关系型攻击集). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{U}$的关系型攻击集为$Att(\mathcal{U})=\{\alpha|\alpha\in\mathcal{R}^-,\alpha\rightarrow_R\mathcal{U}\}$.

性质 1. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,若 $Att(\mathcal{U})=\varnothing$,则$\mathcal{U}\in leaf_R(\Delta)$,或者$\exists\alpha\in leaf_R(\Delta),\alpha\multimap_R\mathcal{U}$.

定义 26(集攻击). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,若$\exists\alpha\in\mathcal{S},\alpha\rightarrow_R\mathcal{U}$,则称集合$\mathcal{S}$攻击$\mathcal{U}$,记为$\mathcal{S}\rightarrow_R\mathcal{U}$.

定义 27(集支援). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,若$\exists\alpha\in\mathcal{S},\alpha\multimap_R\mathcal{U}$,则称集合$\mathcal{S}$支援$\mathcal{U}$,记为$\mathcal{S}\multimap_R\mathcal{U}$.

定义 28(集辩护). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,称集合$\mathcal{S}$为$\mathcal{U}$辩护,当且仅当$\forall\alpha\in Att(\mathcal{U}),\exists\beta\in\mathcal{S},\beta\rightarrow_R\alpha$,记为$\mathcal{S}\lhd\mathcal{U}$.

定义 29(可接受). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{U}$对于$\mathcal{S}$是可接受的,当且仅当:1) 若$Att(\mathcal{U})\neq\varnothing$,则$\mathcal{S}\lhd\mathcal{U}$;或者 2) 若$Att(\mathcal{U})=\varnothing$,则$\mathcal{S}\multimap_R\mathcal{U}$;记为$accept(\mathcal{U},\mathcal{S})$.

在 EBAF 中,从关系视角来看,由于存在关系视角下的支援,元素$\mathcal{U}$被集合$\mathcal{S}$接受分为两种情况:1) 如若元素$\mathcal{U}$受到攻击,$\mathcal{S}$应为$\mathcal{U}$辩护(关系视角下的集辩护),攻击所有对$\mathcal{U}$进行攻击的元素;2) 如若元素$\mathcal{U}$没有受到任何攻击,且被集合$\mathcal{S}$支援(关系视角下的集支援),在逻辑上$\mathcal{U}$也是被$\mathcal{S}$所接受.

从定义 29 可看出,在 EBAF 框架中,元素$\mathcal{U}$对于集合$\mathcal{S}$的可接受性是根据$\rightarrow_R$和$\multimap_R$进行定义的,而关系$\alpha\in\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$是$\rightarrow_R$和$\multimap_R$的源,因此,元素$\mathcal{U}$是否被$\mathcal{S}$接受,等价于$\mathcal{U}$是否被$\mathcal{S}\cap\mathcal{R}^+\cap\mathcal{R}^-$接受.

AAF 中的叶节点未受到任何攻击,是可接受的[8];同理,EBAF 中的叶元素是可接受的.

引理 1. Δ的叶元素是可接受,即对$\forall\alpha\in leaf_R(\Delta)$,有 $accept(\alpha,\{\alpha\})$.

定义 30(特征函数). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\Delta$的特征函数$\mathbb{F}_\Delta$定义为映射$\mathbb{F}_\Delta:2^{\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-}\rightarrow2^{\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-}$,满足$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})=\{\mathcal{U}|\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-,accept(\mathcal{U},\mathcal{S})\}$.

命题 2. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,若$\mathcal{S}$是无冲突的,则$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$是无冲突的.

证明:假设$\alpha,\mathcal{U}\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S}),\alpha\rightarrow_R\mathcal{U}$.根据定义 29 和定义 30,$\alpha,\mathcal{U}\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$可分为 4 种情况:

- 情况 1:$Att(\alpha)\neq\varnothing,Att(\mathcal{U})\neq\varnothing$.因为$\alpha\rightarrow_R\mathcal{U}$且$\mathcal{U}\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$,所以$\exists\beta\in\mathcal{S},\beta\rightarrow_R\alpha$;又因为$\beta\rightarrow_R\alpha$且$\alpha\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$,所以$\exists\gamma\in\mathcal{S},\gamma\rightarrow_R\beta$.故有$\beta,\gamma\in\mathcal{S},\gamma\rightarrow_R\beta$.这与$\mathcal{S}$是无冲突的相矛盾,因此假设不成立;
- 情况 2:$Att(\alpha)=\varnothing,Att(\mathcal{U})\neq\varnothing$.因为$\alpha\rightarrow_R\mathcal{U}$且$\mathcal{U}\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$,所以$\exists\beta\in\mathcal{S},\beta\rightarrow_R\alpha$.这与$Att(\alpha)=\varnothing$相矛盾,因此这种情况不存在;
- 情况 3:$Att(\alpha)\neq\varnothing,Att(\mathcal{U})=\varnothing$.因为$\alpha\rightarrow_R\mathcal{U}$,与$Att(\mathcal{U})=\varnothing$矛盾,因此这种情况也不存在;
- 情况 4:$Att(\alpha)=\varnothing,Att(\mathcal{U})=\varnothing$.与情况 3 同理,这种情况不存在.

综上,$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$是无冲突的. □

命题 3. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,特征函数$\mathbb{F}_\Delta$关于集合包含($\subseteq$)是单调的.

证明:设$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{S}'\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,要证明$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})\subseteq\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S}')$,也就是说,被$\mathcal{S}$接受的每个元素$\mathcal{U}$也被$\mathcal{S}'$接受.假设$\exists\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{U}$被$\mathcal{S}$接受,但不被$\mathcal{S}'$接受.分为两种情况:

- 情况 1:若 $Att(\mathcal{U})\neq\varnothing$.$\mathcal{U}$不被$\mathcal{S}'$接受,即$\exists\alpha\in Att(\mathcal{U})$,且$\nexists\beta\in\mathcal{S}'$,使得$\beta\rightarrow_R\alpha$;因为$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{S}'$,可推出$\nexists\beta\in\mathcal{S}$,使得$\beta\rightarrow_R\alpha$,这与$\mathcal{U}$被$\mathcal{S}$接受的假设相矛盾;
- 情况 2:若 $Att(\mathcal{U})=\varnothing$.$\mathcal{U}$不被$\mathcal{S}'$接受,即$\nexists\beta\in\mathcal{S}'$,使得$\beta\multimap_R\mathcal{U}$;因为$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{S}'$,可推出$\nexists\beta\in\mathcal{S}$,使得$\beta\multimap_R\mathcal{U}$,这与$\mathcal{U}$被$\mathcal{S}$接受的假设相矛盾.

综上,$\mathcal{U}$被$\mathcal{S}$接受但不被$\mathcal{S}'$接受的假设不成立.对于$\forall\mathcal{U}\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$,必有$\mathcal{U}\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S}')$.因此,$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})\subseteq\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S}')$,$\mathbb{F}_\Delta$关于集合包含($\subseteq$)是单调的. □

4.3 可容许集

定义 31(可容许集). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{S}$是无冲突(相容)可容许的,当且仅当$\mathcal{S}$是无冲突的(相容的),且$\forall\alpha\in\mathcal{S},accept(\alpha,\mathcal{S})$(即$\mathcal{S}\subseteq\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$).

命题 4. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,如果$\mathcal{S}$是无冲突可容许的,则$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$也是无冲突可容许的.

证明:因为$\mathcal{S}$是无冲突的,由命题 2 可得$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$是无冲突的.无冲突集合$\mathcal{S}$是可容许的,即有$\mathcal{S}\subseteq\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$,进一步根据命题 3 可得$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})\subseteq\mathbb{F}_\Delta(\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S}))$,因此$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$是无冲突可容许的. □

引理 2. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$是无冲突可容许集,$\mathcal{U},\mathcal{U}'\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$被$\mathcal{S}$所接受,那么:1) $\mathcal{S}'=\mathcal{S}\cup\{\mathcal{U}\}$也是无冲突容许集;2) $\mathcal{U}'$被$\mathcal{S}'$所接受.

证明:

1) 因为$\mathcal{U}$被$\mathcal{S}$所接受,因此$\mathcal{S}'$中的每个元素都被$\mathcal{S}'$所接受.假设$\mathcal{S}'$存在冲突,即$\exists\mathcal{V}\in\mathcal{S}$,使得$\mathcal{V}\rightarrow_R\mathcal{U}$或$\mathcal{U}\rightarrow_R\mathcal{V}$:
   ① 对于$\mathcal{V}\rightarrow_R\mathcal{U}$,因为 $accept(\mathcal{U},\mathcal{S})$,所以$\exists\mathcal{W}\in\mathcal{S},\mathcal{W}\rightarrow_R\mathcal{V}$,与$\mathcal{S}$是无冲突的相矛盾,故不成立;
   ② 对于$\mathcal{U}\rightarrow_R\mathcal{V}$,因为 $accept(\mathcal{V},\mathcal{S})$,所以$\exists\mathcal{W}\in\mathcal{S},\mathcal{W}\rightarrow_R\mathcal{U}$;又因 $accept(\mathcal{U},\mathcal{S})$,所以 $\exists\overline{\mathcal{W}}\in\mathcal{S},\overline{\mathcal{W}}\rightarrow_R\mathcal{W}$,这与$\mathcal{S}$是无冲突的相矛盾,故不成立.

   综上,$\mathcal{S}'$存在冲突的假设不成立,因此$\mathcal{S}'$是无冲突容许集;
2) 因为$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{S}'$,根据命题 3 可得$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})\subseteq\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S}')$.$\mathcal{U}'$被$\mathcal{S}$所接受,即$\mathcal{U}'\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$,因此可推出$\mathcal{U}'\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S}')$,即$\mathcal{U}'$被$\mathcal{S}'$所接受. □

定理 2. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathbb{S}=\{\mathcal{S}|\mathcal{S}$是$\Delta$的无冲突可容许集$\}$,那么$\langle\mathbb{S},\subseteq\rangle$是完全偏序集.

证明:如果一个偏序集合有最小元素且它的每个子集都有上确界,这样的偏序集合称为完全偏序[24].首先,根据命题 2 和命题 3,易证$\langle\mathbb{S},\subseteq\rangle$是偏序集;其次,$\varnothing$是无冲突可容许的,显然它是无冲突可容许集的最小元素;最后需要证明对于每条无冲突可容许集链 $\Omega=\omega_1\subseteq...\subseteq\omega_n,\mathcal{W}=\bigcup_{\omega\in\Omega}\omega$ 也是无冲突可容许的,$\mathcal{W}$即为Ω的上确界.

1) 若$\mathcal{W}$存在冲突,即$\exists\alpha,\beta\in\mathcal{W},\alpha\rightarrow_R\beta$,那么$\exists\omega\in\Omega$,使得$\alpha,\beta\in\omega$.这与$\omega$是无冲突可容许集相矛盾,因此$\mathcal{W}$是无冲突的;
2) 对于$\forall\alpha\in\mathcal{W},\exists\omega\in\Omega$,使得$\alpha\in\omega$;因为$\omega$是无冲突可容许集,所以$\alpha\in\mathbb{F}_\Delta(\omega)$;又因为$\omega\subseteq\mathcal{W}$,由命题 3 可得$\mathbb{F}_\Delta(\omega)\subseteq\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{W})$,所以$\alpha\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{W})$,推出$\mathcal{W}\subseteq\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{W})$.

综上,$\langle\mathbb{S},\subseteq\rangle$是完全偏序集. □

5 EBAF 的可接受集合

5.1 EBAF的扩展

定义 32(首选扩展). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$是无冲突(相容)

首选扩展,当且仅当$\mathcal{S}$是Δ关于集合包含($\subseteq$)的最大无冲突(相容)可容许集.

定义 33(完全扩展). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$是无冲突(相容)完全扩展,当且仅当$\mathcal{S}$是无冲突(相容)可容许集,且$\forall\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,若 $accept(\mathcal{U},\mathcal{S})$,则$\mathcal{U}\in\mathcal{S}$(即$\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})\subseteq\mathcal{S}$).

根据定义 31 和定义 33,容易推出无冲突集合$\mathcal{S}$是完全扩展等价于$\mathcal{S}$是$\mathbb{F}_\Delta$的不动点,即$\mathcal{S}=\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S})$.

定义 34(稳定扩展). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$是稳定扩展,当且仅当$\mathcal{S}$是无冲突的,且$\forall\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-,\mathcal{U}\notin\mathcal{S},\mathcal{S}\to_R\mathcal{U}$.

命题 5. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$是稳定扩展,那么$\mathcal{S}$是相容的,当且仅当$\mathcal{S}$是关于支援$\multimap_R$的闭包.

证明:

1) 设$\mathcal{S}$是稳定扩展且是相容的,若$\mathcal{S}$不是关于支援$\multimap_R$的闭包,则$\exists\mathcal{U}\in\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-,\mathcal{U}\notin\mathcal{S},\mathcal{S}\multimap_R\mathcal{U}$;又因$\mathcal{S}$是稳定扩展,$\mathcal{S}$攻击所有不属于$\mathcal{S}$的元素,即有$\mathcal{S}\to_R\mathcal{U}$,这与$\mathcal{S}$是相容的矛盾,故$\mathcal{S}$必是关于支援$\multimap_R$的闭包;

2) 若$\mathcal{S}$是稳定扩展且是关于支援$\multimap_R$的闭包,由命题 1 可得$\mathcal{S}$是相容的. □

定义 35(可靠扩展). 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$\mathcal{S}$是无冲突(相容)可靠扩展,当且仅当它是$\mathbb{F}_\Delta$的最小不动点,即关于集合包含($\subseteq$)的最小无冲突(相容)完全扩展.

定理 3. 设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,由$\Delta$诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,那么:

1) 若$\mathcal{S}$是无冲突可容许集,则存在无冲突首选扩展$\mathcal{W}$,满足$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{W}$;

2) 若$\mathcal{S}$是无冲突首选扩展,则$\mathcal{S}$也是无冲突完全扩展,反之则不成立;

3) 若$\mathcal{S}$是稳定扩展,则$\mathcal{S}$也是无冲突首选扩展,反之则不成立.

证明:

1) 根据定理 2 易知,对于无冲突可容许集$\mathcal{S}$,存在一个上确界$\mathcal{W}$,显然$\mathcal{W}$是无冲突首选扩展,且有$\mathcal{S}\subseteq\mathcal{W}$;

2) 假设$\mathcal{S}$是无冲突首选扩展,但不是无冲突完全扩展.根据定义 33,$\exists\alpha\in\mathbb{F}_\Delta(\mathcal{S}),\alpha\notin\mathcal{S}$.由引理 2 可得$\mathcal{S}\cup\{\alpha\}$也是无冲突容许集,这与$\mathcal{S}$是关于集合包含的最大无冲突容许集相矛盾.在例 2 中,$\{C,r_2,D,r_3,B\}$是无冲突完全扩展,但不是无冲突首选扩展;

3) 根据稳定扩展的定义,易知每个稳定扩展是最大无冲突完全扩展,因此是无冲突首选扩展.设$\Delta=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,其中,$\mathcal{A}=\{A\},\mathcal{R}_{sup}=\varnothing,\mathcal{R}_{att}=\{A\to A\}$,则$\varnothing$是无冲突首选扩展,但不是稳定扩展. □

5.2 扩展确定算法

根据第 5.1 节的分析可得,无冲突可靠扩展是最小无冲突完全扩展,$\mathcal{S}$是无冲突完全扩展是$\mathcal{S}$是无冲突首选扩展的必要条件,$\mathcal{S}$是无冲突首选扩展是$\mathcal{S}$是稳定扩展的必要条件.因此,扩展的确定算法可以首先确定无冲突可靠扩展,然后在此基础上确定无冲突首选扩展和无冲突完全扩展,最后确定稳定扩展.之后,判断各扩展是否是相容的.

EBAF 扩展确定算法如图 5 所示,其中,$\mathcal{E}_{gr}$表示可靠扩展,$\mathcal{E}_{gr}$表示首选扩展集,$\mathcal{E}_{co}$表示完全扩展集,$\mathcal{E}_{st}$表示稳定扩展集,$Leaf(\cdot)$表示叶元素函数,$selfDef(\cdot)$表示自我辩护元素函数.设由Δ诱导出$\Delta^+=\langle\mathcal{A}',\mathcal{R}^+\rangle$和$\Delta^-=\langle\mathcal{A}'',\mathcal{R}^-\rangle$,令$\mathcal{X}=\mathcal{A}\cup\mathcal{R}^+\cup\mathcal{R}^-$,$Leaf(\mathcal{X})=\{A\in\mathcal{X}|\nexists\alpha\in\mathcal{X},\alpha\to_R A$ 且$\nexists\beta\in\mathcal{X},\beta\multimap_R A\}$,$selfDef(\mathcal{X})=\{\alpha\in\mathcal{U}|\{\alpha\}\lhd\alpha\}$.算法的核心是确定无冲突可靠扩展和无冲突首选扩展.利用消去思想,从Δ的叶元素出发,逐级向上判断元素是否属于无冲突可靠扩展.在此基础上,确定Δ中是否有自我辩护元素,若有,则采用与无冲突可靠扩展确定相似的思路,从自我辩护元素出发确定无冲突首选扩展;若无,则无冲突可靠扩展即为唯一的无冲突首选扩展.

例 2: 设$\Delta_2=\langle\mathcal{A},\mathcal{R}_{sup},\mathcal{R}_{att}\rangle$,其中,$\mathcal{A}=\{A,B,\ldots,F\}$,$\mathcal{R}_{sup}=\{r_3,r_6\}$,$\mathcal{R}_{att}=\{r_1,r_2,r_4,r_5\}$,$r_1=(A,B)^-$,$r_2=(C,r_1)^-$,$r_3=(D,r_1)^+$,$r_4=(E,A)^-$,$r_5=(A,E)^-$,$r_6=(E,F)^+$.$\Delta_2$以及由$\Delta_2$诱导出来的$\Delta_2^-$和$\Delta_2^+$如图 6 所示.

利用扩展确定算法进行计算,得$\mathcal{E}_{gr}=\{C,r_2,D,r_3,B\}$,$\mathcal{E}_{gr}$是不相容的;$\mathcal{E}_{pr}=\{\{C,r_2,D,r_3,B,E,r_4,F,r_6\},\{C,r_2,D,r_3,B,A,r_5,p\}\}$;$\mathcal{E}_{co}=\{\{C,r_2,D,r_3,B\},\{C,r_2,D,r_3,B,E,r_4,F,r_6\},\{C,r_2,D,r_3,B,A,r_5,p\}\}$,$\mathcal{E}_{st}=\{\{C,r_2,D,r_3,B,E,r_4,F,r_6\},\{C,r_2,D,r_3,B,A,$

$r_5,p\}\}.\{C,r_2,D,r_3,B,E,r_4,F,r_6\}$和$\{C,r_2,D,r_3,B,A,r_5,p\}$不是相容的.

```
函数 Extensions(Δ)
    求Δ诱导出的Δ⁻和Δ⁺,记𝒳₀=𝒜∪ℛ⁺∪ℛ⁻;
  // 求Δ的可靠扩展ℰgr
    ℰgr=∅, 𝒳=𝒳₀, tagNeg=∅, tagPos=∅;
    While Leaf(𝒳)≠∅ do
        ℰgr=ℰgr∪Leaf(𝒳);
        tagNeg=tagNeg∪{α∈𝒳|ℰgr→Rα};
        tagPos=tagPos∪{α∈𝒳|ℰgr—∘Rα};
        𝒳=𝒳\(ℰgr∪tagNeg);
    End while
    If tagNeg=tagNeg\tagPos then
        ℰgr 是相容的;
    Else ℰgr 是不相容的;
    End if
   // 求Δ的首选扩展ℰpr
    ℰpr=∅;
    If selfDef(𝒳)≠∅ then
        For each η∈selfDef(𝒳)
            𝒳̄ = 𝒳 , tagNeg=∅, tagPos=∅;
            Do
                ℰ={η};
                ℰ = ℰ ∪ Leaf(𝒳̄);
                tagNeg = tagNeg ∪ {α ∈ 𝒳̄ | ℰ →R α};
                𝒳̄ = 𝒳̄ \ (ℰ ∪ tagNeg);
            While ( Leaf(𝒳̄) ≠ ∅ );
        ℰpr=ℰpr∪{ℰgr∪ℰ};
        End for each
    Else if selfDef(𝒳)=∅ then
            ℰpr={ℰgr};
    End if
    For each ℰ∈ℰpr   //检验ℰ的相容性
        If ℰgr 是不相容的 then
            ℰ也是不相容的;
        Else
            tagNeg={α∈𝒳₀|ℰ→Rα};
            tagPos={α∈𝒳₀|ℰ—∘Rα};
            If tagNeg=tagNeg\tagPos then
                ℰ是相容的;
            Else ℰ是不相容的;
            End if
        End if
    End for each
    //求Δ的完全扩展ℰco
    ℰco={ℰgr}∪ℰpr;
    //求Δ的稳定扩展ℰst
    ℰst=∅;
    For each ℰ∈ℰpr
        If ℰ攻击不属于ℰ的所有元素 then
            ℰst=ℰst∪{ℰ}
        End if
    End for each
    Return ℰgr, ℰpr, ℰco, ℰst
```

Fig.5 Extension determination algorithm of EBAF

图 5 EBAF 的扩展确定算法

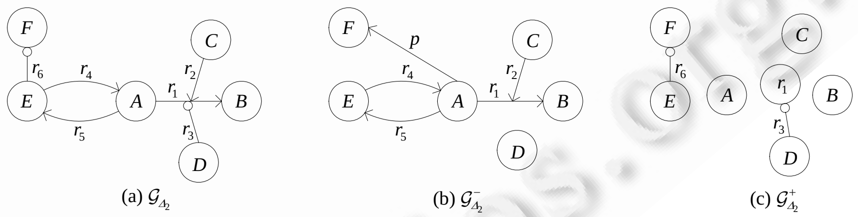

Fig.6 Δ_2 and the Δ_2^- and Δ_2^+ generated from it

图 6 Δ_2及其诱导出的Δ_2^-和Δ_2^+

6 与其他模型的比较

EBAF 模型综合了 BAF 和 AFRA 两者的优点,不仅在辩论模型中考虑了攻击和支援两种语义关系,而且还允许对攻击和支援关系进行攻击和支援,提高了辩论模型符合实际辩论过程的程度以及偏好信息的表达能力.与 BAF 和 AFRA 相比,EBAF 模型的处理,可接受集合的计算都相对比较复杂,在某些处理细节上存在细微的差异.

6.1 与BAF的比较

与 BAF 模型相比,EBAF 模型的优势在于允许对攻击和支援语义关系进行攻击和支援,即存在攻击和支援的递归交互关系,使得论据间的语义表示更丰富.攻击和支援的递归交互能够表达论据间的偏好或价值,或者其他关于论据间关系的其他攻击和支援信息.

在模型处理和可接受集合的计算方面,EBAF 模型与 BAF 模型存在以下差异:

(1) 虽然 EBAF 与 BAF 模型同时包含了攻击和支援关系,但是需要注意的是,EBAF 中关系视角下的支援并不具有传递性.例如在Δ_1中(如图 1 所示),$r_{12}\rightarrow_R r_{11}$,$r_{11}\multimap_R r_6$,但不能推出 r_{12} 在关系视角下间接攻击r_6.正因为如此,不能将 EBAF 直接地转化为关系视角下的 BAF,而是先将 EBAF 的攻击和支援进行分离,把Δ转化为Δ^-和Δ^+,然后再从关系视角确定Δ的可接受集;

(2) BAF 模型中,可接受论据集的确定是将攻击和支援同时处理,即把攻击和支援放在同一张论据交互图中进行处理;而在计算 EBAF 的可接受集合时,则是先将 EBAF 的攻击和支援语义交互关系进行分离,从 EBAF 中诱导出攻击扩展辩论框架和支援扩展辩论框架,再将两者结合起来确定可接受集合.

6.2 与AFRA的比较

EBAF 模型是 AFRA 模型的一种扩展,将原有单独的攻击语义关系扩展成攻击和支援两种独立的语义关系.引入了支援语义关系后,EBAF 从 AFRA 的递归攻击关系扩展成为攻击和支援的递归交互关系.AFRA 模型中的递归攻击关系只表示论据间的偏好关系,而 EBAF 模型中的攻击和支援递归交互关系除了可表达论据间的偏好关系,还可以表示对攻击和支援语义关系的反对或支持,扩展了模型的表达能力.

相比 AFRA 模型而言,EBAF 模型虽然只是在 AFRA 模型的基础上增加了支援语义关系,但是它远比 AFRA 复杂.AFRA 模型可以转化为关系视角下的 AF 模型[17],但是 EBAF 模型却不能转化为关系视角下的 BAF 模型,这是因为在 EBAF 中,关系视角下的支援并不具有传递性.

7 结　论

本文提出了一种扩展双极辩论模型 EBAF,该模型将 BAF 模型和 AFRA 模型的特点相结合,即包括了攻击和支援两种独立的语义关系,且允许对攻击和支援关系进行攻击和支援.攻击和支援的递归交互不仅可以表示偏好信息,它还可表示一般意义上对攻击和支援关系的反对或支持.

本文研究了 EBAF 模型的可接受集的确定方法.首先,将 EBAF 中的攻击和支援进行分离,得到攻击扩展辩论框架和支援扩展辩论框架,在分离过程中考虑了间接攻击和间接支援语义关系;其次,把攻击和支持语义关系作为实体,定义了语义关系视角下的攻击和支援关系,较好地处理了攻击和支援的递归交互;然后,在 AAF 的基本语义概念的基础上,给出了 EBAF 的基本语义概念和扩展的定义,证明了相关命题和定理;最后,给出了 EBAF 扩展的确定算法.

在应用方面,EBAF 模型不仅包括攻击和支援两种独立的语义关系,允许表达对语义关系的攻击和支援,表达偏好信息,而且它还具有较高的抽象程度和可计算性,既可用作研讨支持系统的劝说研讨模型,又可用于形式系统的建模.

下一步的工作将探讨 EBAF 模型在研讨支持系统和形式系统建模中的应用,并将 EBAF 与其他能够表达偏好和价值等信息的辩论模型作进一步的比较分析.

References:

[1] Xiong CQ, Sun XB, Ouyang Y. A survey of research on logic model of argumentation. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2010,23(3):362−368 (in Chinese with English abstract).

[2] Reed C, Grasso F. Recent advances in computational models of natural argument. Int'l Journal of Intelligent Systems, 2007,22(1): 1−15. [doi: 10.1002/int.20187]

[3] 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]

[4] Tan JF, Zhang PZ, Huang LN. A group argumentation information-structruing model in hall for workshop of metasynthetic engineering. Systems Engineering-Theory and Practice, 2005,25(1):86−92, 99 (in Chinese with English abstract).

[5] Tang XJ, Liu YJ. From group support system to creativity support system. Systems Engineering-Theory and Practice, 2006,26(5): 63−71 (in Chinese with English abstract).

[6] Jiang YZ, Zhang PZ, Zhang XX. Research on intelligence visualization in group argument support system. Journal of Management Sciences in China, 2009,12(3):1−11 (in Chinese with English abstract).

[7] Xiong CQ, Pan Y, Li DH. A discussion information-structuring model based on the toulmin formalism. In: Proc. of the 1st Int'l Conf. on Forensic Applications and Techniques in Telecommunications, Information, and Multimedia and Workshop (e-Forensics 2008). Adelaide: ICST, 2008. [doi: 10.1109/WKDD.2008.138]

[8] 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]

[9] Amgoud L, Cayrol C. A reasoning model based on the production of acceptable arguments. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 2002,34(1-3):197−215. [doi: 10.1023/A:1014490210693]

[10] Bench-Capon TJM. Persuasion in practical argument using value-based argumentation frameworks. Journal of Logic and Computation, 2003,13(3):429−448. [doi: 10.1093/logcom/13.3.429]

[11] Cayrol C, Lagasquie-Schiex MC. On the acceptability of arguments in bipolar argumentation frameworks. In: Godo L, ed. Proc. of the Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU 2005). LNAI, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 378−389. [doi: 10.1007/11518655_33]

[12] Amgoud L, Cayrol C, Lagasquie-Schiex MC, Livet P. On bipolarity in argumentation frameworks. Int'l Journal of Intelligent Systems, 2008,23(10):1062−1093. [[doi: 10.1002/ int.20307]

[13] Modgil S. An abstract theory of argumentation that accommodates defeasible reasoning about preferences. In: Mellouli K, ed. Proc. of the 9th European Conf. on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU 2007). LNAI, Hammamet: Springer-Verlag, 2007. 648−659. [doi: 10.1007/978-3-540-75256-1_57]

[14] Modgil S. Reasoning about preferences in argumentation frameworks. Artificial Intelligence, 2009,173(9-10):901−934. [doi: 10.1016/j.artint.2009.02.001]

[15] Dunne PE, Hunter A, McBurney P, Parsons S, Wooldridge M. Weighted argument systems: Basic definitions, algorithms, and complexity results. Artificial Intelligence, 2011,175(2):457−486. [doi: 10.1016/j.artint.2010.09.005]

[16] Dunne PE, Hunter A, McBurney P, Wooldridge M. Inconsistency tolerance in weighted argument systems. In: Proc. of the 8th Int'l Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009), Vol.2. Richard: Int'l Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2009. 851−858.

[17] Baroni P, Cerutti F, Giacomin M, Guida G. AFRA: Argumentation framework with recursive attacks. Int'l Journal of Approximate Reasoning, 2011,52(1):19−37. [doi: 10.1016/j.ijar.2010.05.004]

[18] Atkinson K, Bench-Capon T, Mcburney P. PARMENIDES: Facilitating deliberation in democracies. Artificial Intelligence and Law, 2006,14(4):261−275. [doi: 10.1007/s10506-006-9001-5]

[19] Toulmin SE. The Uses of Argument. Updated ed. New York: Cambridge University Press, 2003.

[20] Conklin J, Selvin A, Shum SB, Sierhuis M. Facilitated hypertext for collective sensemaking: 15 years on from gIBIS. In: Weigand H, Goldkuhl G, Moor A eds. Proc. of the 8th Int'l Working Conf. on the Language-Action Perspective on Communication Modelling (LAP 2003). Tilburg, 2003. 1−19. [doi: 10.1145/504216.504246]

[21] Karacapilidis N, Papadias D. Computer supported argumentation and collaborative decision making: The HERMES system. Information Systems, 2001,26(4):259−277. [doi: 10.1016/S0306-4379(01)00020-5]

[22] Cayrol C, Lagasquie-Schiex MC. Gradual valuation for bipolar argumentation frameworks In: Godo L, ed. Proc. of the Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU 2005). LNAI, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 366−377. [doi: 10.1007/11518655_32]

[23] Atkinson K. Value-Based argumentation for democratic decision support. In: Proc. of the 2006 Conf. on Computational Models of Argument. Amsterdam: IOS Press, 2006. 47−58.

[24] Davey BA, Preistley HA. Introduction to Lattices and Order. 2nd ed., Canbrudge University Press, 2002.

附中文参考文献:

[1] 熊才权,孙贤斌,欧阳勇.辩论的逻辑模型研究综述.模式识别与人工智能,2010,23(3):362−368.

[3] 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]

[4] 谭俊峰,张朋柱,黄丽宁.综合集成研讨厅中的研讨信息组织模型.系统工程理论与实践,2005,25(1):86−92,99.

[5] 唐锡晋,刘怡君.从群体支持系统到创造力支持系统.系统工程理论与实践,2006,26(5):63−71.

[6] 蒋御柱,张朋柱,张兴学.群体研讨支持系统中的智能可视化研究.管理科学学报,2009,12(3):1−11.

陈俊良(1982－),男,四川宜宾人,博士生,主要研究领域为人工智能,不确定推理.

陈超(1977－),男,博士,讲师,主要研究领域为人工智能,知识工程.

王长春(1983－),男,博士生,主要研究领域为人工智能.