一种渐进式论辩语义的论证博弈模型

魏 斌
(西南政法大学 重庆 401120)

摘 要 在可计算论辩模型中，论辩语义的证明理论解决如何判定给定论辩语义中某个论证的证成状态的问题，这通常需要建构与之对应的论证博弈模型。论证博弈发生在正方和反方的论证交互过程中，正反双方都是通过给出攻击论证来质疑对方的论证和辩护己方的论证，正方只有在论证博弈中获胜才能使其初始论证获得确定的证成状态。文中定义了一种被称为BRD-论辩语义的渐进式论辩语义，不同于Dung的抽象论辩语义，它是在结构化论辩框架ASPIC+中嵌入了一种用于计算论证的强度和证成度的循环语义。为了给出该语义的证明理论，建构了与之对应的论证博弈模型。

关键词 结构化论辩框架，渐进式论辩语义，论证博弈

中图法分类号 TP18 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.04.054

Argument Game Model for Gradual Argumentation Semantic

WEI Bin
(Southwest University of Political Science and Law, Chongqing 401120, China)

Abstract In formal argumentation theory, the proof theory of argumentation semantics sloves the problem of how to determine the status of justification of an argument in a given argumentation semantic, which always needs a corresponding argument game model. Argument game happens the process of argument interactions between a proponent and an opponent, and they both object and defense their arguments by giving attacking arguments, only if the proponent wins an argument game, its initial argument could obtain explicit status of justification. This paper defined a kind of gradual argumentation semantic, namely BRD-argumentation semantic, which is different from Dung's abstract argumentation semantic, embeding a circular semantic for calculating the strengthes and degrees of justification of arguments into a structured argumentation framework ASPIC+. For sake of giving the proof theory of this semantic, this paper constructed a corresponding argument game model.

Keywords Structured argumentation framework, Gradual argumentation semantics, Argument game

1 引言

可计算论辩模型(又称形式论辩理论)是一种处理不完备/不一致和动态信息的人工智能逻辑，自20世纪90年代诞生以来，发展迅速，并且产生了一定的学术影响，其研究成果已被应用于多主体系统、协商和通信、决策和博弈以及逻辑程序设计等领域。由Dung于1995年提出的抽象论辩语义[1]是该领域的开创性工作，这种基于扩充的语义通过定义若干包含攻击和辩护关系的论证集合来体现论证的不同性质，其特点是为论证逻辑的后承概念给出一种概括且直观的语义刻画，而且还建构了一般意义的评价标准来定义论证集合的可接受性。但是，这种语义没有表达论证的内部结构，也没有明确论证间的支持关系和攻击类型。

由Amgoud领衔的欧洲自然科学基金项目“带集成组件的论辩服务平台”开发了一种结构化论辩框架ASPIC[2]，这种框架能够与Dung的抽象论辩语义相嵌套；Prakken在此基础上讨论了框架的一致性和封闭假设等属性，发展了表达能力更强的ASPIC+框架[3]；Modgil和Prakken进一步完善了ASPIC+框架，发展了基于偏好的并且满足塔斯基逻辑的更加一般化的框架[4]，这类框架也是目前可计算论辩模型研究中最受关注的工作，文献[4]在近5年统计的《人工智能》杂志发表的引用次数排名前25的论文中排名第12位[5]。

这类结构化论辩框架的特点包括：1)递归定义了论证概念；2)表达了论证的内部结构；3)明确了论证间的攻击类型和击败关系；4)依赖前提和推论规则的偏好来比较论证；5)能很好地与Dung的抽象论辩语义相嵌套。然而，仅仅以偏好来描述论证之间的优劣关系无法表达自然论证的渐进(gradual)属性，例如，在司法审判中的辩论环节，法官往往需要判断控辩双方论证的强弱来指导判决，比如前提支持结论的强度是强的或者是弱的，而并非只局限于比较孰优孰劣。因而，提出一种能够刻画论证的渐进式属性的论辩理论更加贴近自然论辩实践的要求。

到稿日期：2016-11-22 返修日期：2017-03-15 本文受重庆市教委科学技术项目(KJ1500103)资助。

魏 斌(1986—)，男，博士，讲师，主要研究方向为可计算论辩模型和人工智能逻辑，E-mail：srsysj@126.com。

为解决这个问题，笔者与 Prakken 合作提出了一种渐进式论辩语义[6]，这种论辨语义不同于 Dung 的抽象论辩语义，它是在 ASPIC+的基础上嵌入了一种评估论证的渐进属性的循环语义。本文将继续完善文献[6]的研究工作，首先根据论辩的证明标准定义一种特殊的渐进式论辩语义——BRD-论辩语义，而后说明这种渐进式论辩语义的优点并给出实例分析，最后建构这种语义的证明理论即论证博弈模型。

2 渐进式论辩语义

2.1 带渐进值的结构化论辩框架

ASPIC+框架在比较论证方面依赖于前提和推论规则的偏好。为了表达论证的渐进属性，需要将偏好替换为能够对前提和推论规则赋值的听众(audience)，改进得到一种能够计算论证强度的结构化框架，这种框架将沿用 ASPIC+的逻辑句法，新增内容包括：添加作为听众的赋值函数组；定义作用于目标论证的直接攻击；定义极大和极小真子论证。

定义 1[6] 论辩系统 AS 是一个多元组($\mathcal{L}$,$-$,$\mathcal{R}$,n)：

(1)$\mathcal{L}$是包含经典否定$\neg$的逻辑语言；

(2)$-$是$\mathcal{L}$的否定函数，使得有$-\psi=\varphi$当且仅当$\psi=\neg\varphi$以及$-\psi=\neg\varphi$当且仅当$\psi=\varphi$；

(3)$\mathcal{R}=\mathcal{R}_s\cup\mathcal{R}_d$是一个由严格规则集$\mathcal{R}_s$和可废止规则集$\mathcal{R}_d$所构成的集合，并且有$\mathcal{R}_s\cap\mathcal{R}_d=\emptyset$；

(4)n:$\mathcal{R}\rightarrow\mathcal{L}$是一个对可废止规则的命名函数。

定义 2 知识库是一个二元组($\mathcal{K}$,η)，其中$\mathcal{K}\subseteq\mathcal{L}$并且有$\mathcal{K}=\mathcal{K}_n\cup\mathcal{K}_p\cup\mathcal{K}_a$，$\mathcal{K}_n\cap\mathcal{K}_p\cap\mathcal{K}_a=\emptyset$。其中，$\mathcal{K}_n$是由公理构成的公理集；$\mathcal{K}_p$是一般前提集；$\mathcal{K}_a$是由假设构成的假设集。

在定义论辩系统和知识库的基础上，通过递归定义前提、推论规则以及子论证等概念可以定义论证概念。

定义 3[6] 论证 A 可以递归定义如下：

(1)如果$\varphi\in\mathcal{K}$并且满足以下条件，那么φ是一个论证：

$Prem(A)=\{\varphi\}$；$Conc(A)=\varphi$；

$Sub(A)=\varphi$；$DefRules(A)=\emptyset$。

(2)如果$A_1,\cdots,A_n(n\geqslant 0)$是满足条件(1)的论证并且满足以下条件，那么$A_1,\cdots,A_n\rightarrow/\Rightarrow\psi$是一个论证：

$Prem(A)=Prem(A_1)\cup\cdots\cup Prem(A_n)$；

$Conc(A)=\psi$；

$Sub(A)=Sub(A_1)\cup\cdots\cup Sub(A_n)\cup\{A\}$；

$DefRules(A)=DefRules(A_1)\cup\cdots\cup DefRules(A_n)$；

$Toprule(A)=Conc(A_1)\wedge\cdots\wedge Conc(A_n)\rightarrow/\Rightarrow\psi$。

满足条件(1)的论证是原子论证，满足条件(2)的论证是树结构论证。如果$A=Sub(B)$，那么称B是A的超论证。如果$A=Sub(B)$并且$A\neq B$，那么A是B的真子论证，在这一类子论证中还存在极大和极小两种真子论证。

定义 4[6] 论证A是论证B的极大/极小真子论证当且仅当A是B的真子论证并且不存在B的真子论证C使得A/C是C/A的一个真子论证。

定义 5 听众是一个赋值函数组(f,g)，其中f是对推论规则的赋值函数，有$f(r)$:$r\rightarrow[0,1]$并且当$r_0\in\mathcal{R}_s$时，有$f(r_0)=1$；g是对知识库中的命题的赋值函数，当$k\in\mathcal{K}$时，有$g(k)$:$k\rightarrow[0,1]$并且当$k_0\in\mathcal{K}_n$时，有$g(k_0)=1$。

结构化论辩框架定义了3种攻击类型：攻击前提的破坏攻击(underminer)、攻击可废止规则的中断攻击(undercutter)和攻击结论的反驳攻击(rebutter)。进一步可以定义一类作用于目标论证本身的直接攻击关系。

定义 6[6] 论证A直接攻击论证B当且仅当：1)论证A直接中断论证B当且仅当$Conc(A)=-n(r)$并且$Toprule(B)=r\in\mathcal{R}_d$；2)论证$A$直接反驳论证$B$当且仅当$Conc(A)=-Conc(B)$并且有$B$是树结构论证；3)论证$A$直接破坏$B$当且仅当$Conc(A)=-\varphi$并且有$\varphi\in Prem(B)\cap\mathcal{K}_a$。

带渐进值的论辩框架以强度的比较替代了偏好的比较。

定义 7[6] $\mathcal{F}$是评估论证强度的函数，且满足：

(1)如果论证A是原子论证φ，那么有$\mathcal{F}(A)=g(\varphi)$；

(2)如果论证A是树结构论证，且极大真子论证为$A_1,\cdots,A_n$，那么有：

$\mathcal{F}(A)=\min\{\mathcal{F}(A_1),\cdots,\mathcal{F}(A_n),f(Toprule(A))\}$

通过比较论证的强度可以定义击败(defeat)关系。

定义 8 论证A击败论证B当且仅当A反驳B的子论证B'并且有$\mathcal{F}(A)\geqslant\mathcal{F}(B')$，或者$A$破坏$B$且有$\mathcal{F}(A)\geqslant\mathcal{F}(Prem(B))$，或者$A$中断$B$。

例 1 假定论辩系统 AS 中有$\mathcal{R}_s=\emptyset$，$\mathcal{R}_d=\{a\Rightarrow b,c\Rightarrow\neg b,d\Rightarrow e\}$，其中$r_1=n(a\Rightarrow b)$，$r_2=n(c\Rightarrow\neg b)$，$r_3=n(d\Rightarrow e)$；知识库中有$\mathcal{K}_n=\mathcal{K}_p=\emptyset$，$\mathcal{K}_a=\{a,c,d\}$。

根据定义3(1)，可得原子论证：$A_1=[a]$，$B_1=[c]$，$C_1=[d]$。根据定义3(2)，可以得到3个树结构论证：1)$A_2=[A_1\Rightarrow b]$且有$Prem(A_2)=a$，$Conc(A_2)=b$，$Sub(A_2)=\{A_1,A_2\}$，$DefRules(A_2)=\{r_1\}$，$Toprule(A_2)=r_1$；2)$B_2=[B_1\Rightarrow\neg b]$且有$Prem(B_2)=c$，$Conc(B_2)=\neg b$，$Sub(A_2)=\{B_1,B_2\}$，$DefRules(B_2)=\{r_2\}$，$Toprule(A_2)=r_2$；3)$C_2=[C_1\Rightarrow e]$且有$Prem(C_2)=d$，$Conc(C_2)=e$，$Sub(C_2)=\{C_1,C_2\}$，$Def\text{-}Rules(C_2)=\{r_3\}$，$Toprule(C_2)=r_3$。

2.2 渐进式论辩语义

结构化论辩框架表达两种论证间的关系，即支持关系和攻击关系。Dung 的抽象论辩语义只表达了攻击关系，而忽略了论证间的支持关系，这里给出一种可以表达这两种关系的双极(bipolar)论辩框架。这种框架建立在一种论证图上，论证图是一种标记的有向有限图，由表达论证的点、表达论证间攻击关系的攻击链以及表达论证间的真子论证关系链3部分构成。这里的双极论辩框架与 Cayrol 提出的双极论辩框架[7]的区别在于，本文的双极论辩框架是与前述结构化论辩系统相嵌套的。攻击链指的是论证间的直接攻击关系，而支持关系指的是极大真子论证关系，Cayrol 的双极论辩框架则没有说清楚攻击链和支持链在论证之间相联系的具体结构。

渐进式论辩语义借鉴了 Pollock 的批判链语义[8]，通过应用强度(strength)和证成度(degree of justification)两个概念来表达论证的强弱。强度直接来源于人们对论证的初始信念，而证成度则表达的是论证在受到攻击时其强度得到修正后的概念，实质上是一个修正后的强度。这两个概念不同于概率，并不要求满足可加性原则，而且证成度为零但强度不为零的命题不会被完全抛弃，它仍然可能对目标论证产生影响。批判链语义设计了一种用于计算命题强度和证成度的算法，

但是该语义不能直接计算论证的证成度，而且还会导致减弱攻击问题和假定击败问题等反直观结果。渐进式论辩语义克服了这些反直观结果，它在借鉴批判链语义算法的基础上设计了一种基于论证图的证成度算法。为计算方便，这里不再区分中断、反驳及破坏攻击对目标论证的减弱影响。

定义 9[6] 一个双极论辩框架（BAF）是一个三元组（$Args,\mathcal{R}_S,\mathcal{R}_D$），它满足 $Args$ 是论证集合，$\mathcal{R}_S,\mathcal{R}_D\subseteq Args\times Args$ 并且 $\mathcal{R}_S\cap\mathcal{R}_D=\emptyset$，其中 $\mathcal{R}_S$ 是由真子论证关系链构成的集合，而 $\mathcal{R}_D$ 是由攻击链构成的集合。

$(A,B)\in\mathcal{R}_S$ 表示 A 是 B 的真子论证，而 $(A,B)\in\mathcal{R}_D$ 表示 A 攻击 B。

定义 10[6] G 是一个适用于 BAF 的论证图，在图中由论证 A 到论证 B 的论证路径 $\mathcal{P}(A,B)$ 是一个由攻击链以及真子论证链构成的序列 $\langle\mathcal{R}_1,\cdots,\mathcal{R}_n\rangle$，使得存在论证 $B_1,\cdots,B_n$ 并且有 $\mathcal{R}_1=(A,B_1)$，$\mathcal{R}_i=(B_{i-1},B_i)$ 以及 $\mathcal{R}_n=(B_{n-1},B)$，其中 $\mathcal{R}_i\in\mathcal{R}(G)$，$A$ 是路径的根，B 是路径的目标。

这里用 $Args(G)$，$\mathcal{R}_S(G)$ 和 $\mathcal{R}_D(G)$ 分别表示 G 的论证集、真子论证关系链集和攻击链集。在图示中，$\mathcal{R}_S$ 中的链用圆点形箭头表示，而 $\mathcal{R}_D$ 中的链用普通箭头表示。

例 2 假定 BAF 中有例 1 中论证构成的集合 $Args=\{A_1,A_2,B_1,B_2,C_1,C_2\}$，$\mathcal{R}_S=\{(A_1,A_2),(B_1,B_2),(C_1,C_2)\}$；$\mathcal{R}_D=\{(C_2,A_2),(B_2,A_2),(A_2,B_2)\}$。

论证图的表示如图 1 所示。

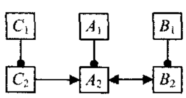

图 1 论证图

定义 11[6] 给定论证图 G' 以及 G，如果 $Args(G')\subseteq Args(G)$ 并且 $\mathcal{R}(G')\subseteq\mathcal{R}(G)$，那么 G' 是 G 的子论证图。如果 $Args(G')$ 和 $\mathcal{R}(G')$ 分别是 $Args(G)$ 和 $\mathcal{R}(G)$ 的真子集合，那么 G' 是 G 的真子论证图。如果 $Args(G')=Args(G)$ 并且 $\mathcal{R}(G')$ 是 $\mathcal{R}(G)$ 的真子集，那么 G' 是 G 的生成(spanning)子论证图。

构造生成论证子图需要剔除原始图 G 中的链，这里将剔除链 $\mathcal{R}$ 的生成论证子图记为 $G\backslash\mathcal{R}$。

定义 12[6] 一个论证路径是一个关于论证 A 的圈(Cycle)当且仅当存在一个路径 $\mathcal{P}(A,A)$，而论证 B 在圈 $\mathcal{P}(A,A)$ 内当且仅当 B 是圈 $\mathcal{P}(A,A)$ 中的一个元素并且有 $A\neq B$。

论证 A 是论证图 G 中的初始论证，意味着在该图中不存在以 A 为目标的论证路径。

定义 13[6] 论证图 G 中的攻击链集 $S=\{\mathcal{R}_1,\cdots,\mathcal{R}_n\}$ 是一个关于论证 A 的基础集(basic set)当且仅当存在 $S\subseteq\mathcal{R}_D(G)$，使得子论证图 $G\backslash S$ 中不存在圈 $\mathcal{P}(A,A)$。论证图 G 中的攻击链集 S 是一个关于论证 A 的批判性扩充(critical extension)当且仅当它是一个极小的关于论证 A 的基础集。

计算一个论证的证成度需要在一个无循环圈的论证图中进行，因而需要通过去除批判链扩充中的元素来切断论证图中的循环路径，从而得到一种新的生成子图。

定义 14[6] 给定一个论证图 G，如果 $S_1,S_2,\cdots,S_n$ 是论证 A 的批判性扩充，那么 $G_A=G\backslash S$ 是论证图 G 中关于论证 A 的去圈(cycle-removed)子图，其中 $S=\bigcup_{i=1}^{n}S_i$。

命题 1 对圈 $\mathcal{P}$ 中的任意攻击链 $\mathcal{L}$，存在至少一个批判性扩充包含它。

证明：参见文献[6]。

存在一个攻击函数算子 $\ominus$ 使得给定两个论证攻击对方，如果它们的强度分别为 x 和 y，那么前者的结论的证成度为 $x\ominus y$。波洛克假定证成度可以被实数所度量，他将证成度设定在一个超实数区间 $[o,\theta]$ 上，其中 $0\leqslant o\leqslant\theta\leqslant\infty$，$o$ 表示不被证成，而 θ 表示完全证成。

波洛克还认为攻击函数算子应当满足以下数学性质：

(1)如果 $\theta>a>b>o$，那么 $a>a\ominus b>o$；

(2)如果 $\theta>a>b>c>o$，那么 $a\ominus b<a\ominus c$ 并且 $a\ominus c>b\ominus c$；

(3)如果 $\theta\geqslant a\geqslant b\geqslant o$，那么 $b\ominus a=o$；

(4)如果 $\theta\geqslant a>o$，那么 $a\ominus o=a$；

(5)如果 $\theta>a$ 并且有 $b,c\in[o,\theta]$，那么 $(a\ominus b)\ominus c=(a\ominus c)\ominus b$。

性质(1)指的是如果攻击论证的强度小于目标论证的强度，那么攻击论证减弱攻击目标论证；性质(2)指的是单调性；性质(3)指的是如果攻击论证的强度大于或等于目标论证的强度，那么攻击论证成功攻击目标论证；性质(4)指的是论证的证成度不会受到不被证成的论证所影响；性质(5)指的是多个攻击论证作用于目标论证的先后顺序不影响目标论证的证成度。下面应用以上算子在论证图中计算论证的证成度。

减弱算子 $\ominus$ 存在多个满足其数学性质的表达函数，下面举出其中一种简易的表达函数用于计算论证的证成度。

定义 15[6] 减弱算子 $\ominus$ 的表达函数 h 可以定义如下：

$$h(x,y)=\begin{cases}x(1-y), & \text{如果 } 0<y\leqslant x\leqslant 1\\ 0, & \text{其它}\end{cases}$$

定义 16[6] 给定论证图 G 和去圈子图 G_A，有

(1)如果论证 A 是初始论证，那么 $\mathcal{J}(A)=\mathcal{F}(A)$；

(2)如果 $(B_1,A),\cdots,(B_n,A)\in\mathcal{R}_D$，那么

$\mathcal{J}(A)=\mathcal{F}(A)\ominus\max\{\mathcal{J}(B_1|G_A),\cdots,\mathcal{J}(B_n|G_A)\}$。

这里的 $\mathcal{J}(B|G_A)$ 表示论证 B 在去圈子图 G_A 中的证成度。其中，$\max\{\emptyset\}=0$。

证明标准是衡量论证好坏的判断依据。如果一个论证满足当前论辩情境下所要求的证明标准，那么认为该论证在当前情境下是一个好的论证。论辩参与方是否达到了其所承担的证明责任也取决于其论证是否满足了相应的证明标准。为更精确地定义证明标准，这里借鉴 Gordon 与 Walton 关于证明标准的观点：“如果一个命题至少被一个主张论证所支持，那么该命题满足微弱证据标准(scintilla of evidence)；如果一个命题的主张论证的权重优于反对论证的权重，那么该命题满足优势证据标准(preponderance of evidence)；排除合理怀疑的标准(beyond reasonable doubts)不仅仅要求论证是确信的，而且要求所有反对论证的权重都低于某个临界值。”[9]根据这一观点，不难给出微弱证据标准、优势证据标准和排除合理怀疑标准的形式化定义。

定义 17 对任意论证 A 及其攻击论证 $B_1,\cdots,B_n$，给定强度 $\mathcal{F}(A)$ 和证成度 $\mathcal{J}(A)$。

(1)论证 A 符合微弱证据标准(SC)当且仅当存在临界值 α 使得 $\mathcal{F}(A)\geqslant\alpha>0$；

(2)论证 A 符合优势证据标准(PE)当且仅当 A 符合微

弱证据标准，并且有 $\mathscr{J}(A)>0$；

(3)论证 A 符合排除合理怀疑标准(BRD)当且仅当：

1)存在临界值 γ，使得有 $\mathscr{J}(A)\geqslant\gamma$；

或者

2)存在临界值 β，使得有 $\mathscr{F}(A)>\beta$ 并且 $\mathscr{J}(B_i)<\alpha$。

临界值 α 往往被赋予较低的值，γ 被赋予极高的值，通常 β 的赋值高于 γ。在理性论辩情境中，正反双方的论证都应当符合基本的理性要求，即双方所给出的论证应当达到人们所能接受的最低证明标准 SC，这样才能满足最基本的举证责任。对反对方提出的质疑证据而言，满足举证责任的论证本身又可以被认为是一种合理的怀疑，即合理的怀疑就是一类满足举证责任的攻击论证。因而不难得到，命题 p 符合排除合理怀疑标准当且仅当它的所有攻击论证都不符合微弱证据标准，也就不难得到临界值之间需满足条件：$\beta\ominus\alpha>\gamma$。

论证在不同的论辩情境中被要求赋予不同程度的证成度，即达到一定的标准就可以认定为在该论辩情境是被接受的，既被证成的(justified)。例如，排除合理怀疑的标准是刑事诉讼证明的证明标准，这意味着满足该证明标准的论证就被认为是刑事司法证明中被证成的论证，只有如此才能满足说服责任。再如，在民事诉讼证明中，各大法系普遍采用的是优势证明标准，换言之，论证是否是被证成的是相对于它所处的论辩情境而言的，论证在某个论辩情境下是否是被证成的取决于它是否满足该情境下的证明标准，这意味着不同的证明标准对应于不同的渐进式论辩语义。本文将要求满足排除合理怀疑的论辩语义称作为 BRD-论辩语义。

定义 18　在 BRD-论辩语义中，论证 A 是被证成的当且仅当 A 满足排除合理怀疑的标准；论证 A 是被否决的(overruled)当且仅当 A 不满足微弱证据标准。

3　渐进式论辩语义的优点

较 Dung 的抽象论辩语义和 Pollock 以及 Caminada 的标记语义等传统论辩语义，渐进式论辩语义有若干优点。首先，传统论辩语义的基本假设是：一个不受攻击的初始论证的赋值是被证成的、不被击败的或者是关于自身可接受的。这些假设都过多强调了论证在缺省条件下的强可接受性，但是忽略了论证在认知推理中的本质，即论证或命题的评估往往是需要考虑其可信度强弱的。一个典型的反例就是：一个不受攻击的初始论证可能是强度弱或可信度低的，例如对于一个品格低劣、经常说谎的证人给出的证言，即使没有人否认他的证言，以该证言为前提的论证也是低可信度的，而且这样的论证不会被完全接受。渐进式论辩语义通过计算论证的强度和证成度来表达人们对论证可信度的强弱程度，其中，强度表示的是人们的初始可信度，而证成度是在充分考虑攻击论证影响下论证的更新可信度。

其次，现有的论辩语义在比较两个互相攻击的论证时都是依赖于偏好的，假如攻击论证不偏好于目标论证，那么就不会改变目标论证的证成状态。也就是说，如果一个论证受到比自身更弱的反论证的攻击，那么它的可接受性不会受到任何影响。然而，这明显有违直观，在很多情况下，攻击论证尽管不能击败目标论证，但是仍然可以在一定程度上减弱目标论证的可信度。例如，在法庭审判中，辩方的怀疑论证尽管不能击败控方的论证，但是仍可能影响控方论证对法官的可信度，使之达不到排除合理怀疑的标准。为避免这个问题，渐进式论辩语义提出了一种减弱攻击关系作为新的攻击方式，即如果攻击论证的强度小于目标论证的强度，那么攻击论证就会减弱攻击目标论证。

最重要的是，渐进式论辩语义能够处理扩充语义和标记语义所面临的循环圈难题，避免由循环圈导致的反直观现象。下面首先介绍 Dung 的抽象论辩语义和 Caminada 的标记语义在处理循环圈时是如何导致反直观结果的，接着说明渐进式论辩语义是如何避免这种反直观结果的。

3.1　抽象论辩语义的反直观

Dung 的抽象论辩框架是可计算论辩理论的奠基性工作，其基本定义包括具备不同特性的若干扩充。

定义 19[1]　论证框架是一个二元对 $AF=(Args, attack)$，其中，$Args$ 是一个有限论证集且二元关系为 $attack\subseteq Args\times Args$。给定论证集 $X,Y\subseteq Args$，X 攻击 Y 当且仅当 $\exists x\in X$ 且 $\exists y\in Y$，使得 $(x,y)\in attack$。

定义 20[1]　论证 A 是关于 S 可接受的(acceptable)当且仅当 $\forall B\in Args$，如果 $(B,A)\in attack$，那么 $\exists C\in S$，使得 $(C,B)\in attack$。

定义 21[1]　论证框架 $AF=(Args, attack)$ 的特征函数定义为：$\wp: pow(Args)\rightarrow pow(Args)$，$\wp(S)=\{A\mid A$ 关于 $S\subseteq Args$ 可接受$\}$。

定义 22[1]　论证集 S 是可允许的(admissible)当且仅当 $S=\wp(S)$。

定义 23[1]　论证集 S 是完全(complete)扩充当且仅当 $S=\wp(S)$。

定义 24[1]　论证集 S 是偏好(preferred)扩充当且仅当 S 是极大可允许论证集。

例 3　假定在 AF_1 框架中 $Args_1=\{A,B,C,D\}$，有 $(A,B),(B,A),(A,C),(B,C),(B,C)\in attack$；在 AF_2 框架中 $Args_1=\{A,B,C,D,E\}$，有 $(A,B),(B,E),(E,A),(A,C),(B,C),(E,C),(C,D)\in attack$。

AF_1 和 AF_2 框架的论证图表示分别如图 2 和图 3 所示。在图 2 中，存在偶循环圈，根据定义 23，有完全扩充 $\{B\}$ 和 $\{B,D\}$，根据定义 24，有偏好扩充 $\{B,D\}$。在图 3 中，存在奇循环圈，完全扩充和偏好扩充都为 $\varnothing$。由此可见，D 在图 2 存在于完全扩充和偏好扩充中，但是不存在于图 3 中，因而 D 在图 2 中的可接受性要高于在图 3 中的可接受性。也就是说，D 在两个图中的证成状态必然不相同。然而，同样是循环圈，奇循环圈和偶循环圈中的论证对 D 的辩护作用却不相同，进而导致截然不同的证成状态，这显然是反直观的。

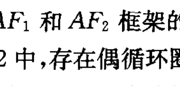

图 2　AF_1 框架的论证图

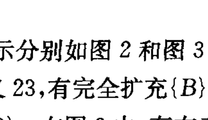

图 3　AF_2 框架的论证图

3.2　标记语义的反直观

标记语义最早可以追溯到 Pollock 的多重赋值语义，Jakobovits等后来证明这种语义与Dung的偏好语义是等价的[10]。Caminada后来发展了与Dung的抽象论辩语义相等价的标记语义，其也是至今最为成熟的标记语义。标记语义同样在处理循环圈难题时会出现反直观结果。

定义25[11] 论证框架是一个二元对$(Args, attack)$，标记是一个全函数：$\mathcal{L}: Args \to \{+, -, \pm\}$。

$\mathcal{L}$是完全标记当且仅当：

(1)如果论证A不被任意论证所攻击，那么$\mathcal{L}(A)=+$；

(2)如果$\exists B \in Args$，使得$(B,A) \in attack$且$\mathcal{L}(B)=+$，那么$\mathcal{L}(A)=-$；

(3)如果$\forall B \in Args$，使得$(B,A) \in attack$且$\mathcal{L}(B)=-$，那么$\mathcal{L}(A)=+$；

(4)如果A不满足以上3种情况，那么$\mathcal{L}(A)=\pm$。

标记方法有利于直观地比较论证的状态。Caminada和Yining在上述标记方法的基础上详细讨论了论证的证成状态，他们定义了一类得出证成状态的函数$\mathcal{JS}$如下：

定义26[12] 给定论证框架AF，论证的证成状态的函数被定义为：$\mathcal{JS}: Args \to pow\{+, -, \pm\}$，使得$\mathcal{JS}(A)=\{\mathcal{L}(A) \mid \mathcal{L}$是$AF$的完全标记$\}$。

论证的证成状态按偏好由强到弱依次划分为6个等级：$\{+\} > \{+, \pm\} > \{+, -, \pm\} \approx \{\pm\} > \{-, \pm\} > \{-\}$。其中，$\{+\}$被称为强接受，$\{+, \pm\}$被称为弱接受，$\{+, -, \pm\}$被称为非决定边界，$\{\pm\}$被称为已决定边界，$\{-, \pm\}$被称为弱拒斥，$\{-\}$被称为强拒斥[12]。

这种标记语义在处理奇偶循环时同样会出现反直观现象。根据定义25和定义26，在图2中，不难得到$\mathcal{JS}(A)=\mathcal{JS}(B)=\{+, -, \pm\}$，$\mathcal{JS}(C)=\{-, \pm\}$，$\mathcal{JS}(D)=\{+, \pm\}$；在图3中，也不难得到所有论证的证成状态都为$\{\pm\}$。根据前述证成状态的偏好比较，有$\{+, \pm\} > \{\pm\}$，可得$D$在图2和图3中的状态赋值不相同。

3.3 渐进式论辩语义处理循环圈难题

渐进式论辩语义能够避免循环圈难题，在满足一定条件下，D在两个图中的证成度相等，也就意味着奇偶循环圈对D的辩护作用是相同的。假设图2表示的论证图为G^1，那么关于A的去圈子图G_A^1以及关于B的去圈子图G_B^1都表示为图4。同理，假设图3表示的论证图为G^2，那么关于A，B和E的去圈子图G_A^2，G_B^2和G_E^2如图5所示。

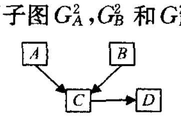

图4 子图G_A^1和G_B^1

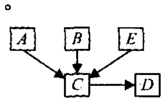

图5 子图G_A^2、G_B^2和G_E^2

首先，计算D在论证图G^1的证成度。

根据定义16(1)，A在去圈子图中的证成度为$\mathcal{J}(A|G_B^1)=\mathcal{F}(A)$，同理有$\mathcal{J}(B|G_A^1)=\mathcal{F}(B)$。

根据定义16(2)，有$\mathcal{J}(A|G^1)=\mathcal{F}(A) \ominus \mathcal{J}(B|G_A^1)$；

$\mathcal{J}(B|G^1)=\mathcal{F}(B) \ominus \mathcal{J}(A|G_B^1)$；

$\mathcal{J}(C|G^1)=\mathcal{F}(C) \ominus \max\{\mathcal{J}(A|G^1), \mathcal{J}(B|G^1)\}$；

$\mathcal{J}(D|G^1)=\mathcal{F}(D) \ominus \mathcal{J}(C|G^1)$。

其次，计算D在论证图G^2中的证成度。

根据定义16(1)，有$\mathcal{J}(A|G_B^2)=\mathcal{F}(A)$，$\mathcal{J}(B|G_E^2)=\mathcal{F}(B)$，$\mathcal{J}(E|G_A^2)=\mathcal{F}(E)$。

根据定义16(2)，有$\mathcal{J}(A)=\mathcal{F}(A) \ominus \mathcal{J}(E|G_A^2)$；

$\mathcal{J}(B|G^2)=\mathcal{F}(B) \ominus \mathcal{J}(A|G_B^2)$；

$\mathcal{J}(E|G^2)=\mathcal{F}(E) \ominus \mathcal{J}(B|G_E^2)$；

$\mathcal{J}(C|G^2)=\mathcal{F}(C) \ominus \max\{\mathcal{J}(A|G^2), \mathcal{J}(B|G^2), \mathcal{J}(E|G^2)\}$；

$\mathcal{J}(D|G^2)=\mathcal{F}(D) \ominus \mathcal{J}(C|G^2)$。

最后，比较D在论证图G^1和G^2中的证成度。

如果$\mathcal{F}(E) \leqslant \mathcal{F}(A)$或$\mathcal{F}(B)$，那么$\mathcal{J}(D|G^1)=\mathcal{J}(D|G^2)$。

也就是说，论证D在分别包含奇循环圈和偶循环圈的两个论证图中的证成度取决于A，B和E的证成度，两者可能是相等的，也可能不相等。由此，渐进式论辩语义不会出现传统论辩语义所面临的循环圈难题。

4 实例分析

下面分析一个考古案例，以对渐进式论辩语义进行检验。2010年河南考古文物研究所组织挖掘的安阳高穴村二号墓(以下简称安阳墓)被确认为曹操墓在考古学界引起了很大的争议，以河南省文物局为代表的主张方认为存在有力证据证明该墓是曹操墓，而以民间学者和文化研究学者为代表的反对方提出了诸多质疑。下面就应用BRD-论辩语义来分析和评估关于"安阳墓是否是曹操墓"的论辩。

这里将主张命题s："安阳墓是曹操墓"的一方称为主张方，将反对该主张的一方称为反对方。

首先，主张方给出的主要前提包括：

p_1：考古专家组验证安阳墓出土遗迹层位属于东汉文化层，上下层位符合历史演化规律；

p_2：安阳墓的考古工作严格遵循田野考古操作规程；

p_3：安阳墓出土魏武王所用挌虎大戟8块圭形石牌；

p_4：《三国志》记载曹操史称魏武王；

p_5：安阳墓墓葬巨大，"四角攒尖"式墓室顶部结构以及墓室形制与已知的汉魏王侯级墓葬类似；

p_6：安阳墓未发现封土，与文献记载的曹操墓"因高为基，不封不树"相符合；

p_7：安阳墓发现的明器没有纹饰和彩绘，与文献《耒》文上记载的"明器无饰，陶素是嘉"相符合[13]。

这些前提构成的原子论证为：$A_i=[p_i]$，$i \in \{1, \cdots, 7\}$。以这些原子论证为真子论证的树结构论证为：$B_1=[A_1 \Rightarrow q_1]$；$B_2=[A_2 \Rightarrow q_2]$；$B_3=[A_3, A_4 \Rightarrow q_3]$；$B_4=[A_5 \Rightarrow q_4]$；$B_5=[A_6, A_7 \Rightarrow q_5]$。其中，可废止推论规则分别为：

$DefRules(B_1)=r_1=p_1 \Rightarrow q_1$；$DefRules(B_2)=r_2=p_2 \Rightarrow q_2$；$DefRules(B_3)=r_3=p_3 \wedge p_4 \Rightarrow q_3$；$DefRules(B_4)=r_4=p_5 \Rightarrow q_4$；$DefRules(B_5)=r_5=p_6 \wedge p_7 \Rightarrow q_5$。

主张方论证的结论分别为：

q_1：墓地出土的层位清楚明确；

q_2：出土的文物真实可靠；

q_3：圭形石牌符合曹操生前身份；

q_4：墓地形制符合汉魏帝王陵墓特征；

q_5：墓的埋葬和随葬品符合文献记载。

主张方认为论证B_1，B_2，B_3，B_4和B_5可以联合支持结论s，因而可得论证$C_1=[B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 \Rightarrow s]$，可废止推论规

则为：$DefRules(C_1)=r_6=q_1\wedge q_2\wedge q_3\wedge q_4\wedge q_5\Rightarrow s$。

反对方就出土文物的可采性、魏武王称谓等提出了质疑。反对方给出的主要前提包括：

φ_1：《周礼冬官考工记》记载公侯伯都可执圭；

φ_2：不存在曹操被称为“魏武王”的史料记载；

φ_3：汉魏帝王陵墓特征形制和结构没有记载；

φ_4：圭形石牌从盗墓者手中获得。

这些前提构成的原子论证为：$D_j=[\varphi_j]$，$j\in\{1,\cdots,4\}$。以这些原子论证为真子论证的树结构论证为：$E_j=[D_j\Rightarrow\psi_j]$，其中，可废止推论规则为：$l_j=\varphi_j\Rightarrow\psi_j$。

反对方论证的结论分别为：

$\psi_1=\neg q_3$：圭形石牌并非帝王所用；

$\psi_2=\neg p_4$：曹操不称“魏武王”；

$\psi_3=\neg q_4$：墓地形制不一定符合汉魏帝王陵墓特征；

$\psi_4=\neg p_3$：圭形石牌可采性存疑。

下面对主张方论证所包含的前提和推论规则进行赋值。为方便起见，这里不再单独给出每个论证的强度和证成度的表达公式，而是直接表达计算后得到的结果。

假定主张方论证所包含的前提和推论规则的初始赋值为：$g(p_k)=f(r_k)=0.8$，其中 $k\in\{1,\cdots,5\}$，$g(p_6)=g(p_7)=0.9$，$f(r_6)=0.99$。

根据定义 7(1)，可得 $\mathscr{F}(A_i)=g(p_i)$；

根据定义 7(2)，可得 $\mathscr{F}(B_k)=0.8$；

进一步可得 $\mathscr{F}(C_1)=0.8$。

假设反对方论证所包含的前提和推论规则的初始赋值为：$g(\varphi_1)=g(\varphi_4)=0.99$，$g(\varphi_2)=g(\varphi_3)=0.2$，$f(l_1)=f(l_4)=0.2$，$f(l_2)=f(l_3)=0.8$。

根据定义 7(1)，可得 $\mathscr{F}(D_j)=g(\varphi_j)$；

根据定义 7(2)，可得 $\mathscr{F}(E_j)=0.2$。

下面计算论证的证成度。由于 $Conc(E_1)=\neg Conc(B_3)$，$Conc(E_2)=\neg Prem(A_4)$，$Conc(E_3)=\neg Conc(B_4)$ 以及 $Conc(E_4)=\neg Prem(A_3)$，根据定义 6(2)，可得 E_1 与 B_3、E_3 与 B_4 互相直接反驳；又根据定义 6(3)，可得 E_2 直接破坏 A_4，E_4 直接破坏 A_3。

下面构造表达主要论证关系的论证图 G，如图 6 所示，其中攻击链 $\mathscr{R}_1=(E_1,B_3)$，$\mathscr{R}_2=(B_3,E_1)$，$\mathscr{R}_3=(E_2,A_4)$，$\mathscr{R}_4=(A_4,E_2)$，$\mathscr{R}_5=(E_4,A_3)$，$\mathscr{R}_6=(A_3,E_4)$，$\mathscr{R}_7=(B_4,E_3)$，$\mathscr{R}_8=(E_3,B_4)\in\mathscr{R}_D$。根据定义 11，存在圈 $\mathscr{P}(E_1,E_1)=\langle\mathscr{R}_1,\mathscr{R}_2\rangle$，$\mathscr{P}(E_2,E_2)=\langle\mathscr{R}_3,\mathscr{R}_4\rangle$，$\mathscr{P}(E_3,E_3)=\langle\mathscr{R}_8,\mathscr{R}_7\rangle$，$\mathscr{P}(E_4,E_4)=\langle\mathscr{R}_5,\mathscr{R}_6\rangle$，$\mathscr{P}(A_3,A_3)=\langle\mathscr{R}_6,\mathscr{R}_5\rangle$，$\mathscr{P}(A_4,A_4)=\langle\mathscr{R}_4,\mathscr{R}_3\rangle$，$\mathscr{P}(B_3,B_3)=\langle\mathscr{R}_2,\mathscr{R}_1\rangle$，$\mathscr{P}(B_4,B_4)=\langle\mathscr{R}_7,\mathscr{R}_8\rangle$。

$\mathscr{P}(E_3,E_3)=\langle\mathscr{R}_8,\mathscr{R}_7\rangle$。

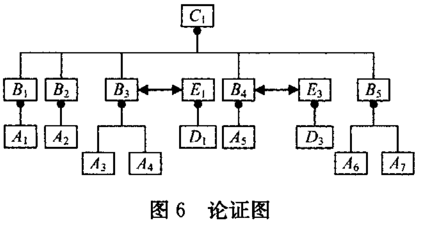

图 6　论证图

根据定义 12，可得$\{\mathscr{R}_1\}$和$\{\mathscr{R}_2\}$是关于 B_3 或 E_1 的批判性扩充，$\{\mathscr{R}_3\}$和$\{\mathscr{R}_4\}$是关于 A_4 或 E_2 的批判性扩充，$\{\mathscr{R}_5\}$和$\{\mathscr{R}_6\}$是关于 A_3 或 E_4 的批判性扩充，$\{\mathscr{R}_7\}$和$\{\mathscr{R}_8\}$是关于 E_3 或 B_4 的批判性扩充。根据定义 13，可得 $G\backslash\{\mathscr{R}_1,\mathscr{R}_2\}$是 G 关于 B_3 或 E_1 的去圈子图，$G\backslash\{\mathscr{R}_3,\mathscr{R}_4\}$是 G 关于 A_4 或 E_2 的去圈子图，$G\backslash\{\mathscr{R}_5,\mathscr{R}_6\}$是 G 关于 A_3 或 E_5 的去圈子图，$G\backslash\{\mathscr{R}_7,\mathscr{R}_8\}$是 G 关于 E_3 或 B_4 的去圈子图。

由于 A_1,A_2,A_5,A_6 以及 A_7 都是初始论证，根据定义 16(1)，可得其证成度等于强度。根据定义 16(3)，可得 $\mathscr{J}(A_3)=\mathscr{J}(A_3,G_{A3})\ominus\mathscr{J}(E_4,G_{A3})=\mathscr{F}(A_3)\ominus\mathscr{F}(E_4)=0.64$，同理可得 $\mathscr{J}(E_2)=\mathscr{J}(E_4)=0$，$\mathscr{J}(A_4)=0.64$。根据定义 16(2)，可得 $\mathscr{J}(B_1)=\mathscr{J}(B_2)=\mathscr{J}(B_5)=0.8$，$\mathscr{J}(B_3)=\mathscr{J}(B_4)=0.512$，进一步可得 $\mathscr{J}(C_1)=0.512$。

假设临界值 $\alpha=0.2$，$\beta=0.5$，$\gamma=0.8$，那么有 $\gamma>\mathscr{J}(C_1)>\beta$。根据定义 17，在 BRD-论辩语义下，可得命题 s 符合确信证据标准，但不符合排除合理怀疑的标准。根据定义 18，在 BRD-论辩语义下，可得命题 s 是被否决的。所以，主张方给出的论证不能完全确定“安阳墓是曹操墓”。

5　论证博弈证明理论

论辩语义的博弈证明理论是从论辩式程序的视角来进行研究的，证明理论解决的是如何判定给定论辩语义中某个论证的证成状态。可计算论辩模型是通过论证的博弈方法来解决这个问题的，即通过在两个博弈方之间展开的论证博弈来进行判定。论证的博弈是在正方和反方的交替行为下进行的，正方给出一个有待检验的初始论证，反方给出质疑该论证的攻击论证，如果正方有一个获胜的策略，也就是另一方穷尽了所有的有效行动，那么就说正方的初始论证具有确定的证成状态。相关研究见 Vreeswijk 和 Prakken 给出的关于 Dung 的偏好语义的证明理论[14]和 Dung，Kowalski 和 Toni 给出的关于 ABA-论辩语义的证明理论[15]。

BRD-论辩语义的博弈证明理论实质上是建构该语义下两个博弈方之间产生的论证博弈，其主要目的是证明 BRD-语义的可靠性和完全性。可靠性指的是如果一个论证在 BRD-博弈中是可证的，那么它在 BRD-语义中是被证成的。完全性指的是如果一个论证在 BRD-语义中是被证成的，那么它在 BRD-博弈中是可证的。这种证明理论是非对称的，因而正反双方的证明责任也是非对称的，正方的证明责任要重于反方，正方的证明要求满足排除合理怀疑的标准，而反方只需要质疑正方的证明，使正方达不预期标准即可。

由于正反双方证明责任的不对称性，使得正反双方回应对方的方式也是不对称的，正方的论证必须击败反方的论证(如果是减弱，可能使得反方的论证仍然满足最低的合理怀疑)，而反方的论证则既可以减弱正方的论证，也可以击败正方的论证。另一方面，正方不需要主动攻击或质疑辩护方的质疑，但是必须在反方提出质疑后对原主张进行辩护，而反方则可以不受限制地对正方的任意论证提出质疑。这就意味着正方的行动必须且只能回应反方的前一个论证，而反方的行动可以回应正方此前的任意一个论证。

由此，BRD-论辩语义的论证博弈模型可以定义如下。

定义 27 论证博弈 $\mathscr{M}$ 是一个有限的行动序对 $\langle m_1,\cdots,m_n\rangle$，$m_i=(pr_i,A_i)$ 指的是第 i 个行动，其中 $A_i\in Args$，$pr_i\in\{P,O\}$，P 表示正方，O 表示反方，使得有：

(1) $pr_i=P$ 当且仅当 i 是奇数，$pr_i=O$ 当且仅当 i 是偶数；

(2)如果 $pr_i=pr_j=P$ 并且 $i\neq j$，那么 $A_i\neq A_j$；

(3)如果 $pr_i=P$，那么 A_i 击败 A_{i-1}；

(4)如果 $pr_i=O$，那么 A_i 减弱或者击败 A_{i-1}。

在 BRD-论辩语义下，由于要满足排除合理怀疑的标准，因此 P 回应 O 的论证必须是击败论证，但是 O 只需要减弱 P 的论证即可使得 P 不满足 BRD 标准，因而 O 回应 P 的论证既可以是减弱论证，也可以是击败论证。

下面还需要定义一种论证博弈树来表达论证博弈。

定义 28 一个论证博弈树 $\mathscr{T}(A)$ 是关于论证 A 的论证博弈的树，它满足条件：

(1) A 是 $\mathscr{T}$ 的根节点；

(2) $\mathscr{T}$ 的节点表示博弈方 P 或 O 的论证；

(3) $\mathscr{T}$ 的分枝称作博弈枝，每个博弈枝是一个论证博弈；

(4) $\mathscr{T}(A)$ 是一棵有限树。

例 4 假定 BAF 中有 $Args=\{A_1,A_2,A_3,A_4,B_1,B_2,B_3\}$，$\mathscr{R}_D=\{(B_1,A_1),(B_2,A_1),(A_2,B_1),(A_3,B_1),(A_4,B_2),(B_3,A_3)\}$。由以上论证构成的论证博弈树如图 7 所示。

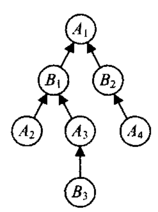

图 7 博弈树

图 7 中存在多个论证博弈枝，其中包含行动最多的博弈枝是 $\mathscr{M}_0=\langle(P,A_1),(O,B_1),(P,A_3),(O,B_3)\rangle$。

定义 29 博弈方的论证博弈满足 BRD-博弈协议当且仅当它满足以下条件：

(1)行动是有效的当且仅当满足：

1) P 的行动回应前一个 O 的行动；

2) O 的行动回应此前 P 的某个行动；

3) P 的行动击败 O 的行动；

4) O 的行动减弱或击败 P 的行动。

(2) P 和 O 的行动都必须满足举证责任。

博弈方的行动满足举证责任指的是其给出的论证满足 SC 标准。满足 BRD-协议的博弈枝被称作是 BRD-博弈枝。

定义 30 博弈方在一个 BRD-博弈枝上获胜当且仅当在该博弈枝上另一方穷尽了有效行动。博弈方在一个博弈树上获胜当且仅当该博弈方在所有的 BRD-博弈枝上获胜。

图 8 和图 9 中的博弈树是图 7 中博弈树的子博弈树。在图 7 和图 9 中，博弈方 P 在博弈树 $\mathscr{T}(A_1)$ 上不是获胜的，因为博弈方 O 在博弈枝 $\mathscr{M}_0$ 上获胜。在图 8 中，博弈方 P 在博弈树 $\mathscr{T}(A_1)$ 上是获胜的，因为它赢得了所有的博弈枝。

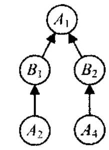

图 8 子博弈树 1

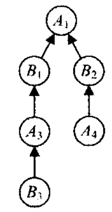

图 9 子博弈树 2

博弈策略是博弈方的一个 BRD-博弈枝，它包含了博弈双方在该博弈枝上的所有有效行动。

定义 31 博弈方有获胜博弈策略当且仅当该博弈方的博弈策略赢得了所有的博弈枝。

论证在论证博弈中是可证性指的是一定存在一个满足该博弈协议的获胜博弈策略。

定义 32 论证 A 在 BRD-博弈中是可证的(provable)当且仅当在一个以论证 A 为根节点的 BRD-博弈中，存在博弈方 P 的一个获胜策略满足 BRD-博弈协议。

引理 1 如果存在 P 的一个获胜博弈策略 T 以论证 A 为根节点并且满足 BRD-博弈协议，那么对 O 回应 A 的任意论证 B，P 都可以在博弈策略 T 中找到一个论证回应 B。

证明：由定义 32，假设 P 无法在博弈策略 T 中找到这样一个论证回应 B，那么 O 的论证就没有被穷尽，即存在一个由 O 给出的论证 B 减弱或击败 P 在 B 所属的博弈枝中的最后一个论证。根据定义 30，就不存在 P 在这一博弈枝的获胜博弈策略。矛盾，假设不成立。

命题 2(完全性和可靠性) 一个论证在 BRD-论辩语义中是被证成的当且仅当它在 BRD-博弈中是可证的。

证明：($\Leftarrow$可靠性)：假设论证 A 在 BRD-博弈中是可证的，根据定义 32，可得存在一个以 A 为根结点的满足 BRD-博弈协议的获胜策略 T，根据引理 1，可得对 O 回应 A 的任意论证 B，P 都可以在策略 T 中找到一个论证回应 B，这就使得 O 穷尽了所有有效行动，即不存在 O 在 P 的行动之后的减弱或击败行动。假设博弈树有 m 个博弈枝，第 i 个博弈枝有 n 个行动，那么该博弈枝的最后一个论证 A^i_n 是被证成的。由于 P 的行动击败 O 的行动，可得 O 的论证不满足 SC 标准，根据定义 18，可得 A^i_{n-1} 被否决的，那么又可得 P 的论证满足 BRD 标准，即有 A^i_{n-2} 是被证成的。如此递推，可得 O 的论证 A_2 是被否决的，而 P 的初始论证 A 是被证成的。

($\Rightarrow$完全性)：假设论证 A 在 BRD-论辩语义中是被证成的，根据定义 18，可得 A 满足 BRD 标准。对于任意由 O 给出的论证 B 减弱或击败 A，博弈方 P 都可以找到一个论证 C 来击败 B(如果不能找到，由于 B 满足 SC 标准，根据定义 17(3)，将使得 A 不满足 BRD 标准)，从而使得 B 达不到 SC 标准，也就不满足举证责任，根据定义 29(1)，可得 O 的这一行动无效。如此递推，对于 O 给出的任意行动，P 都能给出有效的回应，因而 O 在所有博弈枝都穷尽了有效行动，根据定义 30，可得 P 在博弈树上获胜，根据定义 31，可得 P 有获胜策略。又由于 P 的行动都是有效行动并且满足举证责任，根据定义 31，可证性得证。

结束语 证明理论是任意可计算论辩模型的重要组成部

(下转第 294 页)

2004,3290:492-508.
[8] VINCENT S Z,BOI F. Using hierarchical clustering for learning the ontologies used in recommendation systems[C]// Proceedings of the 13th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. San Jose, California, United States,2007.
[9] ZOU B Y,LI C P,TAN L W,et al. Social Recommendations Based on User Trust and Tensor Factorization[J]. Journal of Software,2014,25(12):2852-2864. (in Chinese)
邹本友,李翠平,谭力文,等.基于用户信任和张量分解的社会网络推荐[J].软件学报,2014,25(12):2852-2864.
[10] TANG J L,GAO H J,HU X,et al. Context-Aware Review Helpfulness Rating Prediction[C]//RecSys'13. 2013.
[11] PENG L,ZHOU Q H,QIU J T. Research on the Model of Helpfulness Factors of Online Customer Reviews[J]. Computer Science 2011,38(8):205-207. (in Chinese)
彭岚,周启海,邱江涛.消费者在线评论有用性影响因素模型研究[J].计算机科学,2011,38(8):205-207.
[12] MCAULEY J,FRIEDKIN J. Hidden factors and hidden topics: understanding rating dimensions with review text[C]//RecSys. 2013.
[13] MENG X W,LIU S D,ZHANG Y J,et al. Research on Social Recommender Systems[J]. Journal of Software, 2015, 26(6): 1356-1372. (in Chinese)
孟祥武,刘树栋,张玉洁,等.社会化推荐系统研究[J].软件学报,2015,26(6):1356-1372.
[14] MA H,YANG H X,LYU M R,et al. Sorec:Social recommendation using probabilistic matrix factorization[C]//CIKM. 2008.
[15] MA H,ZHOU D,LIU C,et al. Recommender systems with social regularization[C]//WSDM. 2011.
[16] TANG J L,HU X,GAO H J,et al. Exploiting local and global social context for recommendation[C]//IJCAI. 2013.
[17] YANG B,HUI F,JIE Z. Topicmf:Simultaneously exploiting ratings and reviews for recommendation[C]//AAAI. 2014
[18] WANG S H,TANG J L,LIU H. Toward Dual Roles of Users in Recommender Systems[C]//CIKM. 2015.
[19] MCPHERSON M,SMITH-LOVIN L,COOK J M. Birds of a feather: Homophily in social networks[J]. Annual Review of Sociology,2001,27(1):415-444.
[20] YU L,LIU L,LUO Z H. Comparison and Analysis o n E-Commence Recommenda tion Method in China[J]. System Engineering Theory and Practice,2004,24(8):96-101. (in Chinese)
余力,刘鲁,罗掌华.我国电子商务推荐策略的比较分析[J].系统工程理论与实践,2004,24(8):96-101.

(上接第 262 页)
分,它研究的是如何按照论辩式程序来判定给定论辩语义中某个论证的证成状态。本文在前期工作[6]的基础上定义了一种 BRD-论辩语义,这是一种满足排除合理怀疑标准的渐进式论辩语义,较传统的扩充和标记论辩语义有若干优点。为说明该模型的可行性,本文还应用该语义分析了一个案例。本文的创新工作在于,为给出该语义的证明理论,构建了一种论证博弈模型,并证明了其完全性和可靠性。在另一种 PE-论辩语义中,要求被证成的论证满足优势证据标准,正反双方具有对称的证明责任,这意味着双方都可以减弱或击败对方的论证。下一步的研究工作将建构对应的论证博弈模型,给出 PE-论辩语义的证明理论。

参 考 文 献

[1] DUNG P M. On the Acceptability of Arguments and its Fundmental Role in Nonmonotonic Reasoning, Logic Programming and N-person Games[J]. Artificial Intelligence, 1995, 77(2): 321-357.
[2] CAMINADA M, AMGOUD L. On the Evaluation of Argumentation Formalisms[J]. Artificial Intelligence, 2007, 171(5/6): 286-310.
[3] PRAKKEN H. An Abstract Framework for Argumentation with Structured Arguments[J]. Argument and Computation, 2010, 3(1):93-124.
[4] MODGIL S J, PRAKKEN H. A General Account of Argumentation with Preferences[J]. Artificial Intelligence, 2013, 195(195):361-397.
[5] Most Cited Artificial Intelligence Articles [OL]. [2016-11-20]. http://www.journals.elsevier.com/artificial-intellgence/most-cited-articles.
[6] BIN W, PRAKKEN H. An Analysis of Critical-link Semantics with Variable Degrees of Justification[J]. Argument and Computation, 2016, 7(1):35-53.
[7] AMGOUND L, CAYROL C, LAGASQUIE C, et al. On Bipolarity in Argumentation Frameworks[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2008, 23(10):1062-1093.
[8] POLLOCK J L. Defeasible Reasoning with Variable Degrees of Justification[J]. Artificial Intelligence, 2002, 133(1/2):233-282.
[9] GORDON T F, WALTON D. Proof Burdens and Standards [M]// Rahwan I, Simari G R, eds. Argumentation in Artificial Intelligence. Springer, 2009:239-260.
[10] JAKOBOVITS H, VERMEIR M. Robust Semantics for Argumentation Frameworks[J]. Journal of Logic and Computation, 1999, 9(2):215-261.
[11] GAMINADA M, GABBAY D. A Logical Account of Formal Argumentation[J]. Studia Logica, 2009, 93(2/3):109-145.
[12] WU Y N, CAMINADA M. A Labelling-Based Justification Status of Arguments[J]. Studies in Logic, 2010, 3(4):12-29.
[13] 潘伟斌.曹操墓的考古学证明[N].中国社会科学报,2011-11-22(08).
[14] DUNG P M, KOWALSKI R A, TONI F. Dialectic Proof Procedures for Assumption-based, Admissible Argumentation [J]. Artificial Intelligence, 2006, 170(2):114-159.
[15] VREESWIJK G, PRAKKEN H. Credulous and Sceptical Argument Games for Preferred Semantics[C]// Proceedings of the 7th European Workshop on Logic for Arttficial Intelligence(JELIA-00). Springer, 2000:239-253.