

# 用于计算辩论的论据本体研究

刘斌 姚莉 郝智勇 龚勇

(国防科学技术大学军事信息系统工程重点实验室 长沙 410073)

**摘要** 近年来辩论技术在人工智能领域获得广泛关注。然而,在辩论过程中,如何高质高效地构建攻击论据仍然是难以解决的问题。通过分析论据的本质属性,形式定义论据的相关概念及相互关系,结构化论据的知识表示,实现了论据本体的建模。该论据本体的一致性和可用性通过一个辩论实例得以验证。在此基础上构建了一个原型系统,该系统能够在辩论过程中基于论据本体查找和构建论据,重用已构建的论据,从而有效提高了自动辩论的计算效率。

**关键词** 辩论,论据,知识表示,本体

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Research on Argument Ontology for Computational Argumentation

LIU Bin YAO Li HAO Zhi-yong GONG Yong

(Military Information System Engineering Key Lab, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** Argumentation techniques have been widely concerned by AI researchers in recent years. How to construct qualified counter-arguments efficiently for the argumentation process still remains to be a difficult problem. The nature of arguments was analyzed, and concepts relating to arguments and relations between these concepts were formally defined, and the knowledge representation of arguments was structured. Then an argument ontology was implemented. An instance of an argumentation process was used to testify consistency and usability of the argument ontology. In a prototype system built on this ontology, arguments needed in argumentation processes can be acquired by querying or constructing based on the ontology. Arguments constructed previously are reused, thus the computing efficiency of automatic argumentation is enhanced.

**Keywords** Argumentation, Argument, Knowledge representation, Ontology

## 1 引言

目前,辩论理论(Argumentation Theory)与技术已被应用于许多领域,如用于解决开放系统中 Agent 之间的信念冲突和语义冲突<sup>[1]</sup>、辅助法律与医疗决策<sup>[2]</sup>、军事领域情报分析和方案论证等等<sup>[3]</sup>。论据(Argument)在辩论中起着至关重要的作用,正如 Toulmin 所言:“在能让我们思路变清晰的辩论过程中,要做出好的判断,论据的作用是显著且有意义的”<sup>[4]</sup>。

人工智能领域所研究的自动辩论过程一般分为 3 个步骤:第一步,产生论据,计算论据间的攻击关系,建立辩论框架;第二步,基于辩论框架计算可接受的论据集;第三步,根据不同的辩论语义,确定被接受的结论<sup>[5]</sup>。目前抽象辩论理论<sup>[5]</sup>和已有的许多辩论系统都是采用上述方法实现的。然而,先构建出所有的论据及其攻击关系,形成完整的辩论框架后,再计算相关论据的可接受性,这种方法的计算效率很低,因为论据及其攻击关系的构建具有盲目性。

相反,依据辩论的目标在辩论过程中动态地构建论据<sup>[3]</sup>能有效地克服构建攻击论据时的无目的性。但是动态构建论

据很容易导致相同论据被重复构建,特别是在多方论据博弈过程中,如果辩论中每一步所需要的论据都要构建一次,没有充分利用论据及其组成元素之间的关系,则可能导致大量重复的计算,使计算效率大大降低。例如, Bryant 等人<sup>[6]</sup>开发了一个采用 java 语言实现的辩论引擎原型系统,用以实现基于 Agent 的非单调推理。该系统能在一个不一致的知识库基础上产生论据和反论据,确定论据的可接受性,并通过论据博弈方法构建论据的可接受性证明过程。该方法使用数值表示论据强度,构建反论据时论据强度较大才能攻击成功。但该系统的知识库定义复杂且对于已经构建过的论据,没有充分利用其构建过程中的证明过程,如果下次再需要证明过程中的一部分,就必须重新构建。

因此,如果能基于本体组织论据,如结构化论据模式,区分论据的各组成部分及其关联关系,实现论据的分类管理,必将提高自动辩论的计算效率。特别是通过构建论据本体存储其推理过程,可以达到重复使用论据的辩证证明的目的,从而可避免重复辩论,缩减辩论时间。

另一方面,目前的辩论系统,论据结构大多比较简单,许多基于 Web 的应用中,论据表示只区分了前提和结论,或者

到稿日期:2013-04-17 返修日期:2013-07-02 本文受国家自然科学基金(70971134),博士点专项科研基金(20124307110023)资助。

刘斌(1989—),男,硕士生,主要研究方向为知识工程、智能决策技术, E-mail: liubin0314@gmail.com;姚莉(1965—),女,博士,教授,主要研究方向为知识工程、智能决策技术、人工智能;郝智勇(1984—),男,博士生,主要研究方向为智能决策;龚勇(1977—),男,博士。

只区分支持论据和反论据,没有明确区分论据的类型或论据的脆弱点类型,而现有的工具也不能支持对论据间语义丰富联系的形式表示<sup>[7]</sup>。论据表示的欠缺致使辩论系统的知识表达能力和推理能力受到很大制约,影响了辩论的效果。

由于上述原因,近年来在论据的知识表示方面,一些新型的论据表示框架得到研究。例如,Munoz 等基于描述逻辑(一阶逻辑的子集)采用 OWL 本体语言建立论据结构本体,其中论据概念具有 hasConclusion、hasSupport 与 hasState 等属性描述<sup>[8]</sup>。Prakken 提出了论据表示的结构化框架,使论据可基于子论据进行定义<sup>[9]</sup>。然而,Munoz 等建立的论据本体不能描述论据和子论据的结构关系,这使得论据的构建无法充分利用已有论据的推理过程,而 Prakken 提出的形式化框架不能直接应用于语义网实现论据知识共享。

本文根据知识工程需要,定义了一种不同于上述表示的论据本体,该模型通过自动推理可实现论据分类、链式论据结构的组织,从而有效提升论据构建中的知识重用和共享,提高了论据查询效率。本文的方法还提供论据脆弱点的分析,以改善论据动态产生的质量。另外,辩论过程中辩论各方需要准确无误地交换论据,一个统一描述的论据本体可以作为参与辩论诸方的中间语言。因此,论据本体规范化了论据的表示形式,不仅有利于实现基于论据结构的自动推理,提高论据间攻击关系的发现效率,而且有助于论据知识共享和重用,改善辩论的效果。

## 2 论据相关概念及其性质

自动辩论作为非单调推理的一种形式,为人工智能领域解决经典逻辑系统在常识推理中的困境提供了新思路。在证据不可用或信息不完全的情况下,使用论据验证主张或观点的正确性或合理性就变得十分重要。论据比证据的要求略微宽松,论据对结论的成立提供了理由,然而这种验证(Justify)结论的方式,不同于严格的数学证明,其结论是不保真的。因此,论据能够提供知识表示的可扩展性和结论的可废止性,这使得新的信息能够不断被引入到问题求解中来,从而以非单调推理的形式建模知识的演化过程。

### 2.1 论据及其相关概念的定义

一般而言,使用自然语言描述的人类推理过程,可形式化为由知识和推导规则构成的推理链式结构。因此,辩论时所使用的论据就能够通过描述前面提到的结论的一个推导过程进行构建。

文献[3,9,10]对论据及其相关概念之间的关系进行了不同形式的定义。其中,文献[9]提出的递归定义更有利于论据构建过程的重用和论据知识的共享。因此,本节基于文献[9-11]提出的论据结构框架定义论据及其相关概念。

**定义 1(辩论系统)** 一个辩论系统可以定义为四元组  $\langle \mathcal{L}, \mathcal{R}, \mathcal{D}, \prec \rangle$ , 其中  $\mathcal{L}$  为逻辑语言,  $\mathcal{R}$  为推理规则的集合,  $\mathcal{D}$  为论据的集合,  $\prec$  为论据间优先序的集合。

后文如不做特别说明,讨论都在该辩论系统中进行。

**定义 2(逻辑语言)** 设  $\mathcal{L}$  为集合,该集合包含一个逻辑语言,以及定义在该逻辑语言上的反函数  $-\cdot: \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}$ 。

**定义 3(严格规则和可废止规则)** 设  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n, \phi \in \mathcal{L}, n \in \mathbb{N}$ 。如果  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$  成立,那么  $\phi$  一定成立,则称这一逻辑关系为严格规则,记为  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \rightarrow \phi$ 。如果  $\phi_1, \phi_2,$

$\dots, \phi_n$  成立,那么  $\phi$  很可能成立,则称这一逻辑关系为可废止规则,记为  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \Rightarrow \phi$ 。记  $\mathcal{R}_d = \{ \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \Rightarrow \phi \mid \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \Rightarrow \phi \in \mathcal{L}, n \in \mathbb{N} \}$ ,  $\mathcal{R}_s = \{ \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \rightarrow \phi \mid \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n, \phi \in \mathcal{L}, n \in \mathbb{N} \}$ ,  $\mathcal{R} = \mathcal{R}_s \cup \mathcal{R}_d$ 。

设  $r$  为一条规则,则记为  $Rule(r)$ ; 如果  $r$  为严格规则,则记为  $StrictRule(r)$ ; 如果  $r$  为可废止规则,则记为  $DefRule(r)$ 。特别地,称规则  $r: \phi \rightarrow \phi (\phi \in \mathcal{L})$  为自反律,记为  $ReflexiveLaw(r)$ 。

用于推理过程的知识存储于知识库。Prakken 认为知识可以分为公理、一般前提、假设和争议 4 类<sup>[9]</sup>。在构造论据时,可以根据可靠程度,将 Prakken 所提一般前提和假设归为假设性知识。可以认为,知识库由事实性知识、假设性知识和具有争议的知识构成。其中,假设性知识包含人的主观认识因素,如“宇宙始于大爆炸”;事实性知识为客观存在,如“太阳从东边出来”;具有争议的知识为暂时不能判断的正误命题,如“银河系外有人”。

**定义 4(知识库)** 知识库  $\mathcal{K} \subset \mathcal{L}$  由 3 个不相交的集合构成:  $\mathcal{K} = \mathcal{K}_a \cup \mathcal{K}_f \cup \mathcal{K}_i$ , 其中,  $\mathcal{K}_a$  表示假设性知识的集合;  $\mathcal{K}_f$  表示事实性知识的集合;  $\mathcal{K}_i$  表示具有争议的知识集合。

**定义 5(推理树)** 一个推理过程可以用一棵根树表示,树中的节点按照其对应知识在推理过程中出现的顺序而组织,树的根节点为具有争议的知识,树的一个父节点与其所有子节点之间的联系对应于一条规则。称这棵树为推理树。

设  $P_{11}, P_{12}, P_2, \dots, P_n \in \mathcal{K}_a \cup \mathcal{K}_f, P \in \mathcal{K}_i, r_1, r_2 \in \mathcal{R}$ , 其中,  $r_1 = P_{21}, P_{22} \rightarrow P_2$  和  $r_2 = P_1, P_2, \dots, P_n \rightarrow P$ 。图 1 表示使用上述知识和规则进行推理的过程所对应的一棵推理树。

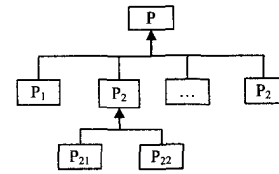


图 1 推理树的结构

论据可以以推理树的形式构建,树的根节点为知识库中有争议的知识。

**定义 6(论据)** 论据  $A$  定义为一个三元组:

- (1)  $\langle \mathcal{D}, r, \phi \rangle, (\phi \in \mathcal{K}_a \cup \mathcal{K}_f, ReflexiveLaw(r))$ ;
- (2)  $\langle DirectSubArgs, r, \phi \rangle (r \in \mathcal{R}, \phi \in \mathcal{K}_i)$ , 其中  $DirectSubArgs = \{ \langle S_i, r_i, \phi_i \rangle \mid 1 \leq i \leq n; i, n \in \mathbb{N} \}$  为非空集合且  $r = \phi_1, \dots, \phi_n \odot \phi (\odot \in \{ \rightarrow, \Rightarrow \})$ 。

如果  $A$  为论据,则记为  $Argument(A)$ 。特别地,称定义 6 (1) 中的论据为基础论据,记为  $BasicArg(A)$ 。

为了保证辩论为一个有限过程,Vreeswijk 在文献[10]定义了辩论系统中论据的可信强度序(Order of conclusive force),可信强度序能够对两个论据进行比较;Martinez 等在文献[11]中定义了一种抽象二元关系,在此基础上建立了击败关系。为了辩论系统的完整性,下面定义论据间的优先序。

**定义 7(论据间的优先序)** 设有论据  $A$  和论据  $B, A \prec_{\neq} B$  表示  $B$  优于  $A, A \prec_{=} B$  表示  $A$  和  $B$  的优先序相同。称  $\prec = \{ \prec_{=}, \prec_{\neq} \}$  为辩论系统的优先序的集合。

树的递归定义刻画了树的固有特性,即一棵非空树由若干棵子树构成,而子树又可由若干棵更小的子树构成。而论据的构建过程也具有类似性质,为了方便构建论据时重用知

识和查询论据类型,下文定义子论据。

**定义 8(论据的直接子论据、顶规则和结论)** 设论据  $A = \langle \text{DirectSubArgs}, r, \phi \rangle (r \in \mathcal{R}, \phi \in \mathcal{X})$ , 则称  $\arg \in \text{DirectSubArgs}$  为  $A$  的直接子论据, 称  $r$  为  $A$  的顶规则,  $\phi$  为  $A$  的结论。

设有论据  $A$ , 如果  $r$  为论据  $A$  的顶规则, 则记为  $\text{TopRule}(r, A)$ ; 如果  $B$  为论据  $A$  的直接子论据, 则记为  $\text{DirectSubArg}(B, A)$ 。一个论据对应的推理树, 其叶节点为基础论据的结论。

**定义 9(子论据)** 设有论据  $A_0, A_1, \dots, A_n, \text{DirectSubArg}(A_1, A_0), \dots, \text{DirectSubArg}(A_n, A_{n-1}), (n \geq 1)$ , 则称论据  $A_n$  为论据  $A_0$  的子论据, 记为  $\text{SubArg}(A_n, A_0)$ 。

## 2.2 论据的分类

**定义 10(可靠基础论据和似然基础论据)** 设基础论据  $A = \langle \emptyset, \text{ReflexiveLaw}(r), \phi \rangle$ 。如果  $\phi \in \mathcal{X}_f$ , 则称  $A$  为可靠基础论据; 如果  $\phi \in \mathcal{X}_s$ , 则称  $A$  为似然基础论据。

根据定义 6 和定义 10, 显然有如下定理成立。

**定理 1** 任意基础论据, 要么为可靠基础论据, 要么为似然基础论据。

**定义 11(可靠论据和似然论据)** 设  $S_f = \{\langle \emptyset, \text{ReflexiveLaw}(r), \phi \rangle \mid \phi \in \mathcal{X}_f\}$ ,  $S_s = \{\langle \emptyset, \text{ReflexiveLaw}(r), \phi \rangle \mid \phi \in \mathcal{X}_s\}$ , 如果  $\forall B \in (\{B \mid \text{SubArg}(B, A)\}) \cap (S_s \cup S_f)$ , 有  $B \in S_f$ , 则称论据  $A$  为可靠论据, 记为  $\text{Firm}(A)$ , 否则称其为似然论据, 记为  $\text{Plausible}(A)$ 。

**定义 12(严格论据和可废止论据)** 设有论据  $A$ , 如果  $\forall B \in \{B \mid \text{SubArg}(B, A)\} \cup \{A\}$ ,  $\text{TopRule}(r_B, B)$ , 有  $r_B \in \mathcal{R}_s$  成立, 则称论据  $A$  为严格论据, 记为  $\text{Strict}(A)$ , 否则称  $A$  可废止论据, 记为  $\text{Defeasible}(A)$ 。

由于自反律是严格规则, 基础论据的顶规则为自反律, 因此基础论据也是严格论据。

定义 11 由推理中是否使用假设性知识来划分论据: 如果论据的构建过程中用到假设性知识, 则其为似然论据; 如果构建过程中用的知识都是事实性知识, 则其为可靠论据。定义 12 由推理中是否使用可废止规则来划分论据: 如果论据的构建过程中用到可废止规则, 则其为可废止论据; 如果其构建过程中使用的规则都是严格规则, 则其为严格论据。

## 2.3 论据类型与子论据类型之间的关系

由定义 11 和定义 12, 可以根据子论据的类型确定论据的类型。但直接根据定义 11, 则需要查询论据的所有子论据中是否存在似然基础论据, 查询过程在找到似然基础论据或者遍历了所有子论据时结束; 而直接根据定义 12, 则需要查询论据及其所有子论据顶规则中是否存在可废止规则, 查询过程在找到可废止规则或者遍历了所有子论据的顶规则时终止。当论据为可靠论据或者严格论据时, 则需要遍历所有子论据。

由论据的直接子论据类型确定其类型比根据定义 11 和定义 12 由论据的所有子论据类型确定其类型更加高效。下述定理 2 和定理 3 证明了论据的类型可以由其直接子论据的类型确定。

**定理 2** 如果  $\text{Plausible}(A)$  成立且  $A$  的直接子论据集  $\text{DirectSub}_A = \bigcup_{i=1}^n \{B_i\} \neq \emptyset$ , 则  $\exists B \in \text{DirectSub}_A$  s. t.  $\text{Plausible}(B)$ 。

证明: 设辩论系统的可靠基础论据集为  $S_f = \{\langle \emptyset, \text{ReflexiveLaw}(r), \phi \rangle \mid \phi \in \mathcal{X}_f\}$ , 似然基础论据集为  $S_s = \{\langle \emptyset, \text{ReflexiveLaw}(r), \phi \rangle \mid \phi \in \mathcal{X}_s\}$ 。设  $\forall B \in \text{DirectSub}_A, \text{Firm}$

$(B)$  成立, 由定义 11 即  $\forall C \in (\{C \mid \text{SubArg}(C, B)\}) \cap (S_s \cup S_f), C \in S_f$ 。由定义 9 可知,  $A$  的子论据集为  $S_A = \bigcup_{i=1}^n (\{C \mid \text{SubArg}(C, B_i)\} \cup \{B_i\})$ 。从而  $\forall C \in S_A, C \in S_f$ , 这与  $\text{Plausible}(A)$  矛盾。得证。

**推论 1** 一个非基础论据为可靠论据, 则该论据的所有直接子论据都为可靠论据。

**定理 3** 如果  $\text{Defeasible}(A), \text{TopRule}(r_A, A)$  且  $r_A \in \mathcal{R}_s$ , 则必然存在论据  $A$  的直接子论据为可废止论据。

证明: 设  $\text{DirectSub}_A = \bigcup_{i=1}^n \{B_i\}$  为  $A$  的直接子论据集且  $\forall B \in \text{DirectSub}_A, \text{Strict}(B)$  成立, 由定义 12  $\text{DirectSub}_A \neq \emptyset$  且  $\forall C \in \{C \mid \text{SubArg}(C, B_i)\} \cup \{B_i\} (i = 1, \dots, n), \text{TopRule}(r_C, C)$ , 有  $r_C \in \mathcal{R}_s$ 。由定义 9 可知,  $A$  的子论据集为  $S_A = \bigcup_{i=1}^n (\{C \mid \text{SubArg}(C, B_i)\} \cup \{B_i\})$ 。从而  $\forall C \in S_A, \text{TopRule}(r_C, C)$ , 有  $r_C \in \mathcal{R}_s$ 。然而, 由定义 12,  $\exists C \in S_A, \text{TopRule}(r_C, C)$ , s. t.  $r_C \notin \mathcal{R}_s$ 。矛盾。得证。

**推论 2** 一个非基础论据为严格论据, 则该论据的顶规则为严格规则且所有直接子论据为严格论据。

## 2.4 论据的脆弱点及其与论据类型的关系

如果在论据构建过程中使用了“可废止规则”或者“假设性知识”, 那么这些规则或知识极易成为论据评估过程中被质疑的焦点。因此, 我们引入论据脆弱点的概念。

**定义 13(论据的脆弱点)** 设  $A$  为一个论据。论据  $A$  的可废止子论据和似然子论据分别构成集合:  $A$  的可废止子论据集  $\text{Sub}_{\text{Def}} = \{B \mid \text{SubArg}(B, A), \text{Defeasible}(B)\}$  和  $A$  的似然子论据集  $\text{Sub}_P = \{B \mid \text{SubArg}(B, A), \text{Plausible}(B)\}$ 。则称任意元素  $B \in \text{Sub}_P \cup \text{Sub}_{\text{Def}} \cup \{A \mid \text{Defeasible}(A)\}$  为论据  $A$  的脆弱点, 记为  $\text{Weakpoint}(B, A)$ 。记论据  $A$  的脆弱点集为  $W_A = \{B \mid \text{WeakPoint}(B, A)\}$ 。

下述定理 4 和定理 5 证明了可以根据论据类型对其脆弱点集作出更明确的界定: 如果论据为严格论据, 那么其所有脆弱点都是其似然子论据; 如果论据为可靠论据, 那么其所有脆弱点都是其可废止子论据或者其本身。

**定理 4**  $\text{Strict}(A)$  成立时: 如果  $\text{Firm}(A)$  成立, 则  $W_A = \emptyset$ ; 如果  $\text{Plausible}(A)$  成立, 则  $W_A = \text{Sub}_P$ 。

证明: 记  $\text{Sub}_D = \text{Sub}_{\text{Def}} \cup \{A \mid \text{Defeasible}(A)\}$ 。首先证明  $\text{Sub}_D = \emptyset$ 。由  $\text{Strict}(A)$  成立可知  $\text{Defeasible}(A)$  不成立且  $\text{Sub}_{\text{Def}} = \emptyset$ , 而  $\text{Strict}(A)$  成立时由  $A \notin \text{Sub}_D$  可知  $\text{Sub}_D = \emptyset$ 。 $\text{Firm}(A)$  成立时由定义 11 可知,  $\text{Plausible}(A)$  不成立且  $\text{Sub}_P = \emptyset$ 。由定义 13,  $\text{Plausible}(A)$  成立时  $\text{Weakpoint}(A, A)$  成立, 所以  $A \in \text{Sub}_P, \text{Sub}_P$  非空。得证。

**定理 5**  $\text{Defeasible}(A)$  成立时: 如果  $\text{Firm}(A)$  成立, 则  $W_A = \text{Sub}_D$ ; 如果  $\text{Plausible}(A)$  成立, 则  $W_A = \text{Sub}_P \cup \text{Sub}_D$ 。

证明:  $\text{Defeasible}(A)$  成立时  $\text{Weakpoint}(A, A)$  成立, 所以  $\text{Sub}_D \neq \emptyset$ 。由定理 4 的证明过程可知  $\text{Firm}(A)$  成立时  $\text{Sub}_P = \emptyset, \text{Plausible}(A)$  成立时  $\text{Sub}_P \neq \emptyset$ 。得证。

## 3 论据的本体建模及其在论据构建中的应用

本节基于上述论据的结构化定义, 用 OWL 描述论据、与论据相关的概念及其之间的关系, 形式定义了论据本体。基于论据本体构建一个已知论据的攻击论据可分为 3 个步骤: (1) 基于论据本体查询已知论据的类型; (2) 根据论据类型利用论据本体查询已知论据的脆弱点; (3) 针对该论据的每一脆



```

//将推理树及其子树转换为论据
for(j=0;j<arguments.length();j++)
    insertIntoOntology(arguments[j],AO)
//则将论据及其子论据插入本体
arg=sparqlQueryArgs(AO,C)
return arg

```

由于已构建的论据存储在本体中,而 prolog 推理机的知识库包含了本体中论据的结论,因此在推理过程中不会构建本体中已经存在的论据,避免了子论据的重复构建。

## 4 本体的一致性验证与应用

### 4.1 本体一致性验证

使用 protege4.02 本体开发工具实现所提出的论据本体模型,建立了论据本体 argument.owl。使用 pellet 推理机对 argument.owl 进行推理,验证了所建立的论据本体的一致性。论据本体中的分类和 pellet 推理机对该本体推理得到的分类分别如图 5 和如图 6 所示。

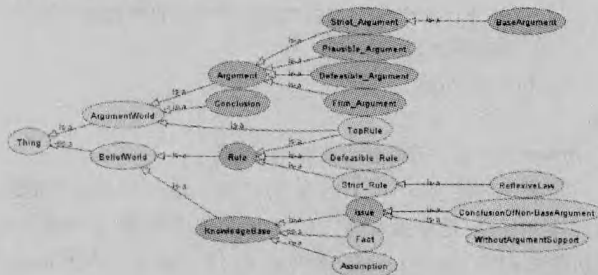


图 5 论据本体中分类

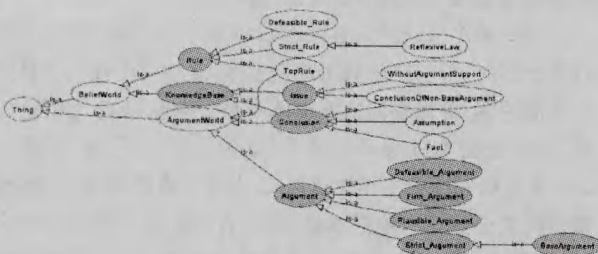


图 6 pellet 推理机所得到的分类图

可以看出, pellet 推理机对 argument.owl 推理所得的分类关系包含了所定义的分类关系。

### 4.2 论据本体在论据构建中的应用

前述“论据/攻击论据生成引擎”是“基于本体的辩论系统 MAS-Arguing<sup>[12]</sup>”的一个组件,它的原型系统在开源 tuprolog 推理机内核和开源 jena 本体查询 API 的基础上利用 java 实现。“论据/攻击论据生成引擎”通过查询论据本体,获取所需要的论据;修改了 tuprolog 推理机,使得该系统在论据本体中不存在所需要的论据时,能够按照论据本体所定义的论据结构构建论据并存入论据本体。其原理是:通过在论据构建推理过程中使用所需论据子论据的结论,避免重复构建已存在于论据本体中的论据推理过程,从而节省论据构建过程中的计算资源。下面以例子说明论据本体在前述原型系统构建论据时的作用。

文献[9]中给出了一个辩论的案例: AgentE 和 AgentH 分别代表残疾人和环保主义者围绕是否禁止小汽车展开辩论。系统具有规则和知识库如下。被各 agent 所共享的规则:

```

common_rule1; dangerous_to(X, Y) => forbid(X).
common_rule2; alternative(Y, X) => not_necessary(X).
代表环保主义者的 AgentE 具有以下规则和知识:
ΔEA: {emit(cars, fumes), threaten(cars, pedestrian), alternative(bus, cars)};
environment_rule1; emit(X, fumes) -> pollute(X).
environment_rule2; emit(X, noise) -> pollute(X).
environment_rule3; threaten(Z, X) -> dangerous_to(X, Z).
environment_rule4; pollute(X) -> forbid(X).
代表残疾人的 AgentH 具有以下规则和知识:
ΔHA: {preferred_to(cars, bus)}.
ΔHF: {handicapped(bob), help(cars, bob)}.
handicapped_rule1; handicapped(Z), help(X, Z) -> necessary(X).
handicapped_rule2; alternative(Y, X), not_preferred_to(X, Y) -> not_necessary(X).
handicapped_rule3; necessary(X) -> not_forbid(X).

```

把知识库 ΔEA、规则 commonrule1、commonrule2 和 4 条 environment\_rule 以结构化的方式存储到 AgentE 的论据本体 environmentalist.owl 中,如图 7 所示。



图 7 包含知识库和规则的论据本体

把知识库 ΔHA、ΔHF、规则 commonrule1、commonrule2 和 3 条 handicapped\_rule 以结构化的方式存储到 AgentH 的论据本体 handicapped.owl 中。AgentE 和 AgentH 分别使用 environmentalist.owl 和 handicapped.owl 围绕 forbid(cars) 这一议题展开辩论。AgentE 使用论据生成引擎获得以 forbid(cars) 为结论的论据为:

```

<<<<<<{, p -> p, emit(cars, fumes)}>>>,
pollute(X) : -emit(X, fumes), pollute(cars)>>>,
forbid(X) : -pollute(X), forbid(cars)>>>.

```

记为 argument\_forbid\_cars。

构建论据 argument\_forbid\_cars 后的 environmentalist.owl 如图 8 所示。可见图 8 中比图 7 中多了论据 argument\_forbid\_cars 和 argument\_forbid\_cars 构建过程中所得的子论据 argument\_pollute\_cars; argument\_forbid\_cars 的顶规则 environment\_rule4。

如图 9 所示,使用“基于本体的辩论系统”, AgentE(图中 environmentalist) 和 AgentH(图中 handicapped) 围绕议题“? forbid(cars)”得到辩论过程,该过程使用树存储(深度优先搜索树还原辩论过程),树的节点中包含的论据就是由“论据/攻击论据生成引擎”提供。



表1 反演结果(粒子牛顿法/非线性最小二乘法)

编号	x/km	y/km	h/km	d/km	Q <sub>1</sub> /C	Q <sub>2</sub> /C	Q <sub>3</sub> /C	Q <sub>4</sub> /C	f/(KV/m) <sup>2</sup>
1	0.011/0.102	0.023/0.351	2.456/2.789	1.020/1.231	5.121/6.215	-25.402/-29.945	12.102/13.516	-2.925/-5.012	0.0060/2.2152
2	0.015/-	0.020/-	2.512/-	1.031/-	4.820/-	-24.894/-	12.312/-	-3.324/-	0.0093/-
3	0.021/0.996	0.100/1.062	2.431/2.012	1.023/0.825	4.526/6.998	-24.714/-30.135	12.325/10.594	-3.215/-5.936	0.0141/3.9473

表2 串行和镶嵌混合结构的结果对比

混合结构形式	x/km	y/km	h/km	d/km	Q <sub>1</sub> /C	Q <sub>2</sub> /C	Q <sub>3</sub> /C	Q <sub>4</sub> /C	f/(kV/m) <sup>2</sup>	计算时间/min
串行	0.151	0.137	2.678	1.089	5.793	-28.298	14.236	-4.157	0.1736	6
镶嵌	0.011	0.023	2.456	1.020	5.121	-25.402	12.102	-2.925	0.006	15

表3 混合概率对反演结果的影响

混合概率	x/km	y/km	h/km	d/km	Q <sub>1</sub> /C	Q <sub>2</sub> /C	Q <sub>3</sub> /C	Q <sub>4</sub> /C	f/(kV/m) <sup>2</sup>	计算时间/min
不建立概率函数	0.012	0.019	2.578	0.998	5.099	-25.288	12.098	-3.151	0.0097	32
本文所提出的	0.011	0.023	2.456	1.020	5.121	-25.402	12.102	-2.925	0.006	15

**结束语** 本文提出的粒子牛顿法能有效地解决非线性迭代对初值的选取问题,选择的镶嵌混合结构能较好地体现两算法结合的优势,建立的以时间及目标函数值标准差为自变量的混合概率函数能够较好地提高计算效率,得到更优的反演结果。

在实际利用多站大气电场进行反演时,数据没有那么归一化,导致了拟合结果偏大,所以对于场地误差的处理是今后实际操作中必需要考虑的。在算法执行时对于反演计算空间要进行一定的假设,没有根据的直接假设可能对计算效率影响较大,我们可以借鉴文献[7],结合雷达资料得到云底高度和云厚,通过对雷暴云的分层多少和云厚就可以给出每层电荷区的厚度。本文主要讨论从计算方法上提高反演拟合的效果,其在一定程度上提高了计算的精度,有一定的参考价值,利用该法能够通过多站大气电场反演得到雷暴云等效电荷,为研究其放电过程提供参考。但是雷暴云电荷结构反演涉及的问题很多,我们假设的模型也比较理想,如何根据实测资料更为全面地反映雷暴云水平尺度、电荷密度分布等都有待于在下一步工作中做更深入的研究。

### 参考文献

[1] 谭涌波,陶善昌,祝宝友,等.云闪放电对云内电荷和电位分布影响的数值模拟[J].地球物理学报,2007,50(4):1053-1065  
 [2] 万浩江,魏光辉,陈强.地面电场数据在雷电三维数值模拟中的应用[J].计算机测量与控制,2010,18(8):1916-1927  
 [3] Marshall T C,Rust W D. Electric field soundings through thunderstorms[J]. J Geophys Res,1991,96:22297-22306

[4] Stolzenburg M,Marshall T C. Charged precipitation and electric field in two thunderstorms[J]. J Geophys Res,1998,103(D16):19777-19790  
 [5] Zhang Ting-long,Qie Xiu-shu,Yuan Tie,et al. The characteristics of cloud-to-ground lightning flashes and charge structure of a typical thunderstorm in Chinese inland plateau [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2008, 32 (5): 1221-1227  
 [6] 崔海华,郑秀书,张其林,等.甘肃中川地区云闪的多站同步观测及雷暴的等效电荷结构[J].高原气象,2009,28(4):808-815  
 [7] 张廷龙,言穆弘,张彤,等.利用地面电场对中川地区一次雷暴过程电荷结构的研究[J].高原气象,2010,29(6):1524-1532  
 [8] 李炳宇,萧蕴诗,汪镭. PSO算法在工程优化问题中的应用[J]. 计算机工程与应用,2004(18):74-76  
 [9] 康玉梅,刘建坡,李海滨,等.一类基于最小二乘法的声发射源组合定位算法[J]. 东北大学学报:自然科学版,2010,31(11):1648-1656  
 [10] Langdon W B,Poli R. Evolving problems to learn about particle swarm and other optimizers[C]//Proc. CEC-2005. vol. 1, 2005: 81-88  
 [11] Parsopoulos K E, Vrahatis M N. Recent approaches to global optimization problems through particle Swarm optimization[J]. Natural Computing, 2002, 1(2/3):235-306  
 [12] Garnier S,Gautrais J,Theraulaz G. The biological principles of swarm intelligence [J]. Swarm Intelligence, 2007, 30(1):3-31  
 [13] 李庆扬,王超能,易大义.数值分析[M].北京:清华大学出版社,2008:271-276  
 [14] 陈渭民.雷电学原理[M].北京:气象出版社,2006:268-270

(上接第231页)

[8] Muñoz A,Botía J A. ASBO:Argumentation system based on ontologies[M]//Cooperative Information Agents XII. Berlin Heidelberg:Springer,2008:191-205  
 [9] Prakken H. An abstract framework for argumentation with structured arguments[J]. Argument and Computation, 2010, 1(2):93-124  
 [10] Vreeswijk G A W. Abstract argumentation systems[J]. Artificial

intelligence,1997,90(1):225-279

[11] Martnez D C,Garcla A J,Simari G R. Modelling well-structured argumentation lines[C]//Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence. 2007:465-470  
 [12] 姚莉,佟濛,苏建欣,等.用于辩证分析的多Agent辩论对话系统MAS Arguing的设计与实现[J].小型微型计算机系统,2011,32(10):2109-1233