3T-1

プリファレンスを扱う議論意味論の ASP による計算とプリファレンス発見への応用

龍沢 昌宏[1]　　　　若木 利子[2]
芝浦工業大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻*

1 はじめに

Dung の抽象議論フレームワーク (以後 AF) とその議論意味論 [6] が提案されて以降, 枠組みの拡張や新たな意味論の拡張が進展しつつある [9, 10]. 2002 年, 優先情報を議論で扱うために, Dung の意味論を拡張したプリファレンス付き議論フレームワーク (Preference-based Argumentation Framework, 以後 PAF) とその意味論が Amgoud により提案された [2]. しかしこの Amgoud の意味論では extension の conflict-free 性が保証されないという技術的問題が IJCAI'09 で指摘された. この問題点の解決手段として, ArgMAS2010 で若木により PAF の新たな意味論 [8] が提案され, その意味論は $\mathcal{P}$-extension によって与えられた. 昨年, 永吉により $\mathcal{P}$-extension を解集合プログラミング (ASP)[5] に基づき計算する方法が提案されたが, これは複数の論理プログラムを用いており, 論理プログラムの解集合と $\mathcal{P}$-extension が一対一に対応していなかった [12]. そこで本研究では, 一つの論理プログラムの解集合が $\mathcal{P}$-extension と一対一に対応する ASP 記述の方法を提案する. また, 現実の議論では, 「所望の論証を勝利させるために必要なプリファレンスを発見したい」というプリファレンス発見のニーズが法的推論等で存在する [1]. 本研究では, PAF の意味論計算を一つの一般論理プログラム (NLP, [5]) で実現する方法に加えて, 永吉の方法では不可能だったアブダクションによるプリファレンス発見を可能とした ASP 記述の方法を提案する.

2 AF と PAF に基づく議論の意味論

2.1 AF の意味論

議論フレームワーク (AF) における Dung の議論意味論は extension によって与えられ, 議題となる論証が skeptical(或いは credulous) に正当化されるか否かを判定する (詳細は文献 [6] 参照). Dung 意味論の計算方法には, Caminada の Labelling [4] を利用した方法がある [7].

2.2 PAF の形式化と意味論

若木が提案した PAF の意味論を以下で説明する [8].

定義 1 プリファレンス付き $AF(PAF)$ は以下で定義される.

$$PAF = (AR,\ attacks, \leq)$$

ここで AR は論証集合, $attacks$ は AR 上の攻撃関係,$\leq$ は AR 上の優先関係であり疑順序 (preorder) である (即ち反射律と推移律を満たす). $B \leq A$ (i.e.$(B, A) \in \leq$) は, "論証 A を B より優先する" を表す. また, 狭義の (strict) 優先関係 $<$ を「$B < A \overset{\text{def}}{=} B \leq A$ 且つ $A \not\leq B$ 」で定義する.

PAF の意味論は以下で定義する $\mathcal{P}$-extension の集合で与えられる. また, 以後 $SEM \in \{complete,\ grounded,\ preferred, stable\}$ とする.

定義 2 (プリファレンス関係 $\sqsubseteq$)[8] $PAF = (AR, attacks, \leq)$ において $(AR, attacks)$ の SEM extensions の集合を ε とした時, ε 上のプリファレンス関係 $\sqsubseteq$ を以下で定義する. 任意の $E_1,\ E_2,\ E_3 \in \varepsilon$ について,

1 $E_1\ \sqsubseteq\ E_1$
2 $a_2 \in E_2 \setminus E_1$ なる論証 a_2 について,
　(1)$a_1 \leq a_2$ なる論証 $a_1 \in E_1 \setminus E_2$ が存在し, かつ
　(2)$a_2 < a_3$ なる論証 $a_3 \in E_1 \setminus E_2$ が存在しない
　ならば $E_1\ \sqsubseteq\ E_2$
3 $E_1 \sqsubseteq E_2$ かつ $E_2 \sqsubseteq E_3$ ならば $E_1 \sqsubseteq E_3$

上記 1,3 より $\sqsubseteq$ は疑順序 (preorder) である. また, $E_1 \sqsubseteq E_2$ かつ $E_2 \not\sqsubseteq E_1$ の時, $E_1 \sqsubset E_2$ と書く.

定義 3 ($\mathcal{P}$-extension)[8]
PAF において SEM 意味論が指定され, $AF = (AR, attacks)$ の SEM extension 集合を ε とする. この時, 任意の $E'\in\varepsilon$ について $E \not\sqsubset E'$ である $E \in \varepsilon$ を SEM $\mathcal{P}$-extension と称する.

Computing preference-based argumentation in ASP and its application to preference-finding to derive intended conclusions
[1]Masahiro Tatsuzawa,[2]Toshiko Wakaki
*Shibaura Institute of Technology

例 1 旅行に行くジャックが, ジョン, メアリー, スージーの内一人に給料を支払い観光案内を頼む. 次の論証があったとする.

J：ジョンに案内を頼む
J_b：ジョンは荷物を多く運んでくれる (baggage)
J_c：ジョンに頼めばお土産を安く買える (cheap)
M：メアリーに案内を頼む
M_c：メアリーに頼めばお土産を安く買える
S：スージーに案内を頼む
S_s：スージーに頼めば近道ができる (shortcut)

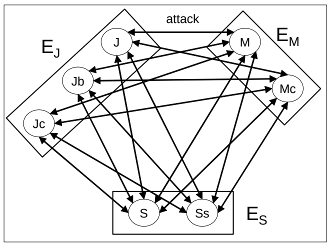

図 1　PAF の議論

この議論を表す AF は図 1 のグラフで表される.
Dung の意味論に基づいてこの AF の議論計算を行うと, preferred extension は $E_J = \{J, J_b, J_c\}, E_M = \{M, M_c\}, E_S = \{S, S_s\}$ となる. ここでジャックが「近道ができるよりお土産が安く買える方が良い」「お土産が安く買えるより荷物を多く運べる方が良い」という要望を持っていた場合, これは $S_s \leq J_c, S_s \leq M_c, M_c \leq J_b, J_c \leq J_b$ というプリファレンスで表現される. この時 extensions 間の優先関係は $E_S \sqsubseteq E_J, E_S \sqsubseteq E_M, E_M \sqsubseteq E_J$ が得られる. この結果 preferred $\mathcal{P}$-extension は E_J のみとなり, 人間の意図する自然な結果が得られる.

3 ASP による PAF の意味論計算

本研究では $(AR, attacks, \leq)$ の SEM $\mathcal{P}$-extension と解集合が一対一対応の NLP の論理プログラム $tr_{de}[PAF; SEM]$ を提案する. $S|_X = S \cap X$ とする.

定義 4 $PAF = (AR, attacks, \leq)$ より, 以下の NLP [5]:

$$tr_{de}[PAF; pr] \overset{\text{def}}{=} tr[AF; pr] \cup \Sigma \cup \Omega$$

を定義する. $tr[AF; pr] = \Pi \cup \Gamma \cup \Xi_{pr}$ は文献 [7] で提案されたルール集合である. 以下にルールの詳細を示す.

Π_{AF}: 1. $ag(a) \leftarrow .$ 　(但し $a \in AR$)
　2. $attack(a,\ b) \leftarrow .$ 　(但し $(a,\ b) \in attacks$)
Π_{Lab}: 3. $in(X) \leftarrow ag(X),\ not\ ng(X).$
　4. $ng(X) \leftarrow in(Y),\ attack(Y,\ X)\ .$
　5. $ng(X) \leftarrow undec(Y),\ attack(Y,\ X)\ .$
　6. $out(X) \leftarrow in(Y),\ attack(Y,\ X).$
　7. $undec(X) \leftarrow ag(X), not\ in(X), not\ out(X).$
Γ: 8. $m2(a, j) \leftarrow .\ ext\_no(j) \leftarrow .$ 　$(\forall in(a) \in S_j)$
Ξ_{pr}: 9. $c(Y) \leftarrow ext\_no(Y), in(X), not\ m2(X, Y).$
　10. $d(Y) \leftarrow m2(X, Y), not\ in(X).$
　11. $\leftarrow d(Y),\ not\ c(Y)\ .$

Σ, Ω は preferred extension から $\mathcal{P}$-extension を取り出すルール集合である. Σ は次の 12,13 のルール集合,

12. $\leq (a, b) \leftarrow .\ (\forall (a, b) \in \leq)$
13. $< (X, Y) \leftarrow \leq (X, Y), not\ \leq (Y, X)\ .$

Ω は 14.1〜21 のルール集合である.

14.1. $c2(N1, N2) \leftarrow ext\_no(N1), m2(X, N2), not\ m2(X, N1).$
14.2. $d2(N1, N2) \leftarrow ext\_no(N2), m2(X, N1), not\ m2(X, N2).$
14.3. $non\_pref(N1) \leftarrow d2(N2, N1), not\ c2(N2, 1)\ .$
14.4. $preferred(N) \leftarrow ext\_no(N), not\ non\_pref(N).$
15.1. $gr1(N, Y) \leftarrow in(Y), m2(X, N), \leq (X, Y),$
　$not\ in(X), not\ m2(Y, N).$
15.2. $gr2(N, Y) \leftarrow in(Y), m2(Z, N), < (Y, Z),$
　$not\ in(Z), not\ m2(Y, N).$
15.3. $\sqsupseteq (N) \leftarrow preferred(N), gr1(N, Y), not\ gr2(N, Y).$
16.1. $rgr1(N, Y) \leftarrow in(X), m2(Y, N), \leq (X, Y),$
　$not\ in(Y), not\ m2(X, N).$
16.2. $rgr2(N, Y) \leftarrow in(Z), m2(Y, N), \leq (Y, Z),$
　$not\ in(Y), not\ m2(Z, N).$
16.3. $\sqsubseteq (N) \leftarrow preferred(N), rgr1(N, Y), not\ rgr2(N, Y).$
17.1. $grt1(N1, N2, Y) \leftarrow ext\_no(N1), ext\_no(N2), m2(X, N1),$
　$m2(Y, N2), \leq (X, Y), not\ m2(Y, N1), not\ m2(X, N2).$
17.2. $grt2(N1, N2, Y) \leftarrow ext\_no(N1), ext\_no(N2), m2(Z, N1),$
　$m2(Y, N2), < (Y, Z), not\ m2(Y, N1), not\ m2(Z, N2).$
18. $\sqsubseteq 2(N1, N2) \leftarrow grt1(N1, N2, Y), not\ grt2(N1, N2, Y),$
　$preferred(N1), preferred(N2).$
19. $\sqsubseteq 2(N1, N3) \leftarrow \sqsubseteq 2(N1, N2), \sqsubseteq 2(N2, N3).$
20.1. $\sqsubseteq (N2) \leftarrow \sqsubseteq (N1), \sqsubseteq 2(N1, N2).$
20.2. $\sqsupseteq (N2) \leftarrow \sqsupseteq (N1), \sqsubseteq 2(N2, N1).$
21. $\leftarrow \sqsubseteq (N), not\ \sqsupseteq (N).$

$tr_{de}[PAF; pr]$ の解集合を M とする. 文献 [7] より, $AF = (AR,\ attacks)$ の complete (及び preferred) extension E は, Π (及び $\Pi \cup \Gamma \cup \Xi_{pr}$) の解集合 S から $E = \{a|\ in(a) \in S\}$ として得られる. 他方, $\Sigma \cup \Omega \setminus \{21$ のルール $\}$ は層状論理プログラムであるので $E_M = \{a|\ in(a) \in M\}$ は AF の preferred extension となる．他方，文献 [7] と同様，全単射関数 ψ と 2 引数述語記号 m_2 を用いて，

$$in(a) \in S_j \text{ s.t. } \psi(S_j) = j \ \text{ iff } \ m_2(a, j) \in M \quad (1)$$

が成り立つように Π の任意の解集合 S_j ($1 \leq j \leq \xi$, 但し ξ は Π の解集合の総数) の情報が Γ の m_2 等のアトムとして，$tr_{de}[PAF; pr]$ の解集合 M に埋め込まれている．ここで各 S_j は $E_j = \{a|\ in(a) \in S_j\}$ なる AF の complete extension を表すが $\Sigma \cup \Omega$ の 12〜14 のルールより，$preferred(N) \in M$ であれば M に埋め込まれた S_N に対する E_N は preferred extension となる．ルール 15 より $\sqsupseteq (N) \in M$ ならば，$E_M \sqsupseteq E_N$，ルール 16 より $\sqsubseteq (N) \in M$ ならば，$E_M \sqsubseteq E_N$ が成立ち，これらは E_M について定義 2 の 2 を計算，他方，ルール 17〜18 により $\sqsubseteq 2(N1, N2) \in M$ ならば，M に埋め込まれた S_{N1},S_{N2} についての E_{N1}, E_{N2} に関して定義 2 の 2，即ち $E_{N1} \sqsupseteq E_{N2}$ が成り立ち，これを用いてルール 20 では定義 2 の 3 (推移律) を計算する．ルール 21 では定義 3 に従い，M が表す preferred extension E_M が preferred $\mathcal{P}$-extension か否かを判定する．

定義 4 の変換論理プログラムに対し，以下の健全性，完全性定理が成り立つ．但し $\mathcal{I} = \{in(a) \mid a \in AR\}$．

定理 1 (健全性/完全性定理) 所与の $PAF = (AR, attacks, \leq)$ について，preferred $\mathcal{P}$-extension E が存在するならば $tr_{de}[PAF; pr]$ は $M \cap \mathcal{I} = \{in(a) \mid a \in E\}$ なる解集合 M を持つ．逆に $tr_{de}[PAF; pr]$ が解集合 M を持つならば，$E = \{a \mid in(a) \in M\}$ なる preferred $\mathcal{P}$-extension E が存在する．

例 2 例題 1 の PAF から $tr_{de}[PAF; pr]$ を作成し，解集合を求めると M_1 が得られる． これより $M_1|_{\mathcal{I}} = \{in(j), in(j_b), in(j_c)\}$，となり，preferred $\mathcal{P}$-extension $E_J = \{j, j_b, j_c\}$ が得られる．

4 アブダクションによるプリファレンス発見

4.1 発想的議論

以下に演繹的議論と発想的議論の問題について述べる．

<演繹的議論の問題> $PAF = (AR, attacks, \leq)$ と議題論証 g が与えられた時，g が skeptical(或いは credulous) に正当化できるか否かを判定せよ (skeptical/credulous な正当化については文献 [7] を参照)．

<発想的議論の問題> $AF = (AR, attacks)$ とプリファレンスを付けたい論証集合 $H \subseteq AR$，及びゴール論証 g が与えられた時，g を $PAF = (AR, attacks, \leq)$ の下で skeptical に正当化する (或いは credulous にも正当化しない) ような H 上の関係 $\leq$ を発見せよ．

例 3 例題 1 において，案内者候補の一人であるジョンが「給料を貰うために自分が案内をしたい」と考えたとする．この時ジョンは，自分が案内する事を主張する論証 J を議論で勝利させるために，J を $(AR, attacls, \leq)$ で skeptical に正当化するような $\leq$ を発見したいというニーズを持つ．
$AF = (AR, attacks)$ を例題 1 と同じ，$H = \{J_b, J_c, M_c, S_s\}$，ゴール論証 $g = J$ とする． この時 J を skeptical に正当化する $\leq$ は，例えば例 1 で用いた $\leq = \{(S_s, J_c), (S_s, M_c), (M_c, J_b), (J_c, J_b)\}$ 等がある．

しかし，この例題において条件を満たす $\leq$ は他にも多数存在し，そのような全ての $\leq$ を手計算で発見することは困難である．そこで，定義 4 の変換論理プログラムを利用し，プリファレンス発見を行う ASP の記述を以下に示す．

4.2 ASP 記述

所与の AF, H, g について，$PAF = (AR, attacls, \leq)$ の下で g を skeptical に正当化する $\leq$ を発見する変換論理プログラム $tr_{ab}[AF, H, g; pr]$，及び極小の $\leq$ を発見する変換論理プログラム $tr_{ab\_min}[AF, H, g; pr]$ を以下で定義する．

定義 5

$$tr_{ab}[AF, H, g; pr] \stackrel{\text{def}}{=} tr[AF; pr] \cup \Omega \cup \Gamma(H) \cup \Omega_2 \cup \{\leftarrow \ not\ skep(g)\}$$

$$tr_{ab\_min}[AF, H, g; pr] \stackrel{\text{def}}{=} tr_{ab}[AF, H, g; pr] \cup \Gamma_{min} \cup \Xi_{min}$$

但し，$\Gamma(H)$ は次の 1〜3 のルール集合，

1. $h(a) \leftarrow .$ (但し $a \in H$)
2. $\leq (X, Y) \leftarrow h(X), h(Y), not\ \leq' (X, Y).$
3. $\leq' (X, Y) \leftarrow h(X), h(Y), not\ \leq (X, Y).$

Ω_2 は次の 4〜8 のルール集合，

4. $non\_prefP(N) \leftarrow \sqsubseteq 2(N, N2), not\ \sqsubseteq 2(N2, N),$
   $not\ non\_pref(N), not\ non\_pref(N2).$
5. $non\_prefP(N) \leftarrow non\_pref(N).$
6. $prefP(N) \leftarrow ext\_no(N), not\ non\_prefP(N).$
7. $non\_skep(X) \leftarrow ag(X), prefP(N), not\ m2(X, N).$
8. $skep(X) \leftarrow ag(X), not\ non\_skep(X).$

Γ_{min} は 9，Ξ_{min} は 10〜12 のルール集合 ([11]) である．

9. $m3(a, b, j) \leftarrow .\ gr\_no(j) \leftarrow .$ $(\forall gr(a, b) \in S_j)$
10. $c3(N) \leftarrow gr\_no(N), \leq (X, Y), not\ m3(X, Y, N).$
11. $d3(N) \leftarrow m3(X, Y, N), not\ \leq (X, Y).$
12. $\leftarrow c3(Y),\ not\ d3(Y)\ .$

g を PAF で skeptical に正当化する候補としてのプリファレンス関係 $\leq \subseteq H^2$ は，$\Gamma(H)$ の解集合より
$\leq = \{(a, b) \mid \Gamma(H)$ の解集合 U について，$\leq (a, b) \in U\}$
に基づき計算される．また，Ω_2 にてルール 8 の skep(X) で全ての $\mathcal{P}$-extension に存在する X を計算するので，$\leftarrow \ not\ skep(g)$ によって g が skeptical に正当化されるような $\leq$ を持つ解集合のみが取り出される．

定義 5 の変換論理プログラムに対し，以下の定理 2 が成り立つ．

定理 2 (発想的議論における健全性/完全性定理)
所与の $AF = (AR, attacks), H \subseteq AR$，ゴール論証 g について，$tr_{ab}[AF, H, g; SEM]$ の解集合 S が存在するならば，$\leq = \{(a, b)|\leq (a, b) \in S\}$ なる $PAF = (AR, attacls, \leq)$ は g を SEM 意味論の下で skeptical に正当化する．逆に，g が SEM 意味論の下で skeptical に正当化されるような $\leq$ が存在するならば，$\leq = \{(a, b)|\leq (a, b) \in S\}$ となる $tr_{ab}[AF, H, g; SEM]$ の解集合 S が存在する．

この定理は，$tr_{ab}[AF, H, g; SEM]$ の解集合を求めることで，$PAF = (AR, attacls, \leq)$ の SEM 意味論の下で g を skeptical に正当化する $\leq$ を発見できることを示している．

例 4 例題 3 の AF,H,g=J から $tr_{ab}[AF, H, J; pr]$ を作成し，解集合を求めると M_1, M_2, M_3, M_4 が得られる．$\mathcal{GR} = \{\leq (a, b) \mid a, b \in AR\}$ とすると，

$M_1|_{\mathcal{GR}} = \{\leq (ss, jb), \leq (mc, jc)\}$，$M_2|_{\mathcal{GR}} = \{\leq (mc, jb), \leq (ss, jb)\}$
$M_3|_{\mathcal{GR}} = \{\leq (mc, jb), \leq (ss, jc)\}$，$M_4|_{\mathcal{GR}} = \{\leq (mc, jc), \leq (ss, jc)\}$

となり，J を skeptical に受理する極小の $\leq$ が全て求まる．

5 実装

本研究で提案した手法に基づき，PAF の SEM $\mathcal{P}$-extension の計算，及びプリファレンス発見が可能な議論計算ツールの実装を行い，例を用いて正しく計算されていることを確認した．結果を以下に示す．

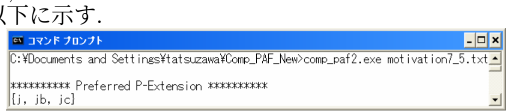

図 2 例題 1 のプログラム実行例

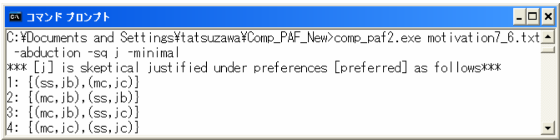

図 3 例題 3 のプログラム実行例

6 おわりに

本研究では，PAF における新意味論の計算及びプリファレンス発見を行う ASP 記述の方法を提案し，その方法に基づき議論計算ツールの実装を行った．本研究で作成したツールは近々 Web 上に公開予定である．

参考文献

[1] K. Inoue, C. Sakama: Abducing Priorities to Derive Intended Conclusions, Proc. of IJCAI-99, pp.44-49,1999.

[2] L. Amgoud, C. Cayrol: On the acceptability of arguments in preference-based argumentation, In 14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, UAI'1998, Madison, Wisconsin, Morgan Kaufmann, pp. 1-7, 1998.

[3] L. Amgoud: Repairing Preference-Based Argumentation Frameworks, Proc. of IJCAI'09 pp.665-670, 2009.

[4] M. Caminada: On the issue of reinstatement in argumentation, Proc. of JELIA06, pp. 111-123, LNAI No.4160, Springer, 2006.

[5] M. Gelfond, V. Lifschitz: Classical Negation in Logic Programs and Disjunctive Databases, New Generation Computing 9, pp.365-385, 1991.

[6] P. M. Dung: On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games, Artificial Intelligence 77(2), pp.321-357, 1995.

[7] T. Wakaki and K. Nitta: Computing Argumentation Semantics in Answer Set Programming, New Frontiers in Artificial Intelligence, LNAI Vol. 5447, pp. 254-269, Springer-Verlag, 2008.

[8] T. Wakaki: Preference-based Argumentation Capturing Prioritized Logic Programming, Proc. of ArgMAS2010, pp. 211-228, 2010.

[9] 龍沢昌宏，若木利子: 価値に基づく議論フレームワークの新意味論の提案，合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010(JAWS2010)，2010 年 10 月．

[10] 龍沢昌宏，若木利子: 議論フレームワークにおける stage 意味論の ASP による計算，情報処理学会第 73 回全国大会，2011．

[11] 龍沢昌宏: プリファレンスを扱う議論意味論の ASP による計算とプリファレンス発見への応用，2011 年度芝浦工業大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻修士論文．

[12] 永吉信雄，若木利子: プリファレンス付き議論フレームワーク PAF の ASP による議論意味論計算，情報処理学会第 73 回全国大会，2011．