

5L-4

# セマンティック Web 推論を用いた議論エージェントシステム

向井 孝徳<sup>\*1</sup> 宮下 裕充<sup>\*1</sup> 若木 利子<sup>\*1</sup> 松永 久美子<sup>\*2</sup> 沢村 一<sup>\*2</sup> 新田 克己<sup>\*3</sup>

芝浦工業大学 システム工学部<sup>\*1</sup> 新潟大学 工学部<sup>\*2</sup> 東京工業大学大学院<sup>\*3</sup>

## 1 はじめに

近年, 複数エージェントが各自の戦略的知識を持ち, それを用いて議論・推論により問題解決をするマルチエージェントシステム [6] が提案・実装され, 稼働している. しかし, これらのエージェントは対象分野の概念や語彙に関するオントロジー知識を持っていない. 一般に Web 上の電子商取引等の問題では, 売り手と買い手の売買に関する戦略的知識以外に販売店や商品に関するオントロジー知識を用いた推論が必要と考えられる. そこで本研究では, セマンティック Web 上の OWL DL, 或は, 記述論理:  $SHOIN(D)$  で表現されたオントロジーに基づく DL 推論系と議論に基づくエージェント推論システムを統合したマルチエージェントシステムの推論方式の検討と実現を行なうと共に, 電子商取引等の具体的事例への適用と評価を行なった.

## 2 システム概要

本システムは, (1) オントロジー変換器, (2) DL 推論系, (3) エージェント推論システム, で構成される. システム構成を図 1 に示す.

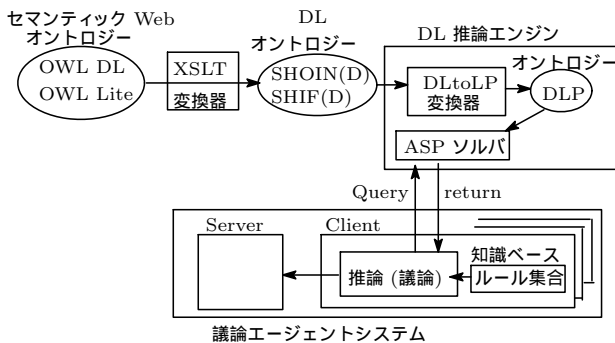


図 1: システム構成

## 3 オントロジーの DL 表現と DL 推論系

セマンティック Web の OWL DL 言語は, 記述論理 (description logics, 以後 DL) の  $SHOIN(D)$  と充足可能性等の理論的同値性が示されている. 本研究ではオントロジー知識は OWL DL, 又は  $SHOIN(D)$  で表現されるものとする. オントロジーが OWL DL で表現された場合, 変換規則がプレートルールに記述された XSLT 変換器により  $SHOIN(D)$  に変換される.

An integrated System of Semantic Web Reasoning and Argument-based Reasoning

<sup>\*1</sup>T. Mukai, <sup>\*1</sup>H. Miyashita, <sup>\*1</sup>T. Wakaki, <sup>\*2</sup>K. Matsunaga, <sup>\*2</sup>H. Sawamura, <sup>\*3</sup>K. Nitta

<sup>\*1</sup>Shibaura Institute of Technology, <sup>\*2</sup>Department of Information Engineering Niigata University, <sup>\*3</sup>Tokyo Institute of Technology

## 3.1 DL $SHOIN(D)$ の構文

定義 (概念とロール)

$A, D, R, U, I$  を原子的概念, データタイプ, 抽象ロール, データタイプロール, 個体, のそれぞれの集合とする. 抽象ロール  $R_a \in R$  の逆ロール  $R_a^-$  の集合を  $R^-$  とする. ロール  $R$  は,  $R \cup U \cup R^-$  の要素で定義される. 概念  $C, C'$  の構文は以下で定義される.

$$C, C' \rightarrow A \mid \neg C \mid C \sqcap C' \mid C \sqcup C' \mid \{o_1, \dots\} \mid \forall R.C \mid \exists R.C \mid \geq nR \mid \leq nR \mid \forall U.D \mid \exists U.D \mid \geq nU \mid \leq nU$$

但し,  $A \in \mathbf{A}, D \in \mathbf{D}, R \in R \cup U \cup R^-, U \in \mathbf{U}, o \in \mathbf{I}$ . なお, 本システムでは,  $SHOIN(D)$  のデータタイプロール  $U \in \mathbf{U}$  はサポートしていない.

定義 (知識ベース: KB)

$SHOIN(D)$  の知識ベース (KB) は TBox と ABox で構成される. TBox は, (1) 概念包含と概念定義:  $C \sqsubseteq D$  および  $C \equiv D$ , (但し,  $C, D$  は概念) (2) ロール包含とロール定義:  $R \sqsubseteq S$  および  $R \equiv S$ , (但し,  $R, S \in R$  または  $R, S \in U$ ) (3) ロール推移律:  $Trans(R)$  (但し,  $R \in R$ ) 等の公理の集合である.

ABox は概念  $C$  とロール  $R$  に関する事実的言明の公理集合であり, 公理は次の形式で表される.

$$C(a), R(a, b) \quad (\text{但し, } a, b \in \mathbf{I} \text{ は個体})$$

《例 1》大学のカリキュラム・オントロジー:  $KB_1$  を図 2 に示す.

## 3.2 DL $SHOIN(D)$ の意味論

$KB \stackrel{def}{=} TBox \cup ABox$  と公理  $\alpha$  について,

$KB \models_{DL} \alpha$  iff  $\alpha$  は KB の論理的帰結である.

(i.e.  $\alpha$  は KB の全てのモデルで真である)

が成り立つ. (意味論の詳細は文献 [1] を参照.)

<TBox>	<ABox>
$uni\_curriculum \equiv course$	$hard\_get\_credit(philosophy)$
$course \sqsubseteq faculty\_e$	$reg(ai, st\_0)$
$\sqcup faculty\_s \sqcup faculty\_h$	$cs\_dept(11)$
$cs\_dept \sqsubseteq faculty\_e$	$math\_dept(12)$
$ee\_dept \sqsubseteq faculty\_e$	$phili\_dept(13)$
$math\_dept \sqsubseteq faculty\_s$	$cs\_dept(ai)$
$philo\_dept \sqsubseteq faculty\_h$	$cs\_dept(c\_programming)$
$we\_logic \equiv western\_logic$	$cs\_dept(prolog\_programming)$
$\sqcup eastern\_logic$	$cs\_dept(technical\_english)$
$we\_logic \sqsubseteq logic$	$math\_logic(12)$
$mp\_logic \equiv math\_logic$	$philo\_logic(11)$
$\sqcup philo\_logic$	$\neg pass(st\_0)$
$easy\_get\_gredit \equiv \exists reg.(\neg pass)$	
$hard\_get\_credit \equiv \forall reg.pass$	

図 2: カリキュラム・オントロジー:  $KB_1$

### 3.3 DL 推論エンジンと DL 推論系

本研究では, S. Heymans *et al* [5] や C. Baral [2] により提案された Answer Set Programming (以後 ASP) [4] に基づく DL 推論の方法を採用した.

Heymans 法では  $SHOIN(D)$  と類似な以下の概念の構文の DL  $ALCHODQ(\sqcup, \sqcap)$  を対象とし,

$$C, C' \rightarrow A \mid \neg C \mid C \sqcap C' \mid C \sqcup C' \mid \{o_1, \dots\} \mid \\ \forall R.C \mid \exists R.C \mid \geq nR.C \mid \leq nR.C,$$

$ALCHODQ(\sqcup, \sqcap)$  で表現されたオントロジー知識は, *Conceptual Logic Programs*(以後, CLP) という選言論理プログラム (DLP) のクラスに変換される. 無限ドメインの DLP では一般に非決定性推論となるが, Heymans 法では,  $ALCHODQ(\sqcup, \sqcap)$  のオントロジー (Tbox) を構文的に制限された DLP (i.e. local CLP) に変換し, 有限個の匿名定数の導入と単一名公理を仮定して, DL 推論が有限ドメインにおける DLP の (通常) ASP 推論に縮約可能となる. Heymans 変換法では以下の定理が得られる.

定理 [5]  $ALCHODQ(\sqcup, \sqcap)$  の知識ベース (Tbox): $\Sigma$ , DL-safe program  $P$ , 基礎原子式  $\alpha$  に対して,

$$(\Sigma, P) \models \alpha \text{ iff } \Phi_1(\Sigma, P) \cup \Phi_2(\Sigma, P) \models \alpha.$$

$(\Sigma, P) \models \alpha$  は, 質問  $\alpha$  が DL 推論の論理的帰結である事を表す. 本システムでは,  $P$  は Abox の公理を表す基礎原子式の集合,  $\Phi_1(\Sigma, P)$  は,  $\Sigma$  の Tbox から変換された CLP のルール集合, 及び概念名/ロール名の原子式: $l$  に対する free rule:  $l \vee \text{not } l \leftarrow$  等で構成され,  $\Phi_2(\Sigma, P)$  は  $P$  のみである. すると  $\Phi_1(\Sigma, P) \cup \Phi_2(\Sigma, P)$  は有限ドメインの DLP であり,  $\Phi_1(\Sigma, P) \cup \Phi_2(\Sigma, P) \models \alpha$  は, ASP により容易に計算できる.

表 1 は, DL 推論系の入力オントロジーの DL 表現とファイル仕様, Heymans 法で変換された DLP の一部を示す.

表 1: Hymans 法  $CLP(\Sigma)$  の一部

DL 表記	入力形式	DLP 表記	出力形式
$C_1 \sqsubseteq C_2$	$C_1 \leq C_2$	$:- c1\_-(X), \text{not } c2\_-(X).$	
$C_1 \equiv C_2$	$C_1 = C_2$	$:- c1\_-(X), \text{not } c2\_-(X). \\ :- c2\_-(X), \text{not } c1\_-(X).$	
$\neg C$	$\text{not}(C)$	$n\_c\_-(X) \\ :- \text{dom\_}(X), \text{not } c\_-(X).$	
$C_1 \sqcap C_2$	$\text{and}(C_1, C_2)$	$c1\_and\_c2\_-(X) \\ :- c1\_-(X), c2\_-(X).$	
$C_1 \sqcup C_2$	$\text{or}(C_1, C_2)$	$c1\_or\_c2\_-(X) :- c1\_-(X). \\ c1\_or\_c2\_-(X) :- c2\_-(X).$	
$\exists R.C'$	$\text{exists}(R, C')$	$\text{exists}_r\_c\_-(X) \\ :- r\_-(X, Y), c\_-(Y).$	

## 4 議論エージェントシステムとの統合

### 4.1 エージェントの知識ベース

マルチエージェントシステム [6] は議論を行う Client (エージェント) と議論を制御する Server で構成され, 各々の Client は ELP で書かれた知識ベースを持つ. 各 Client のエージェントがオントロジー知識 (DL の原子式) について質問する時, そのエージェントの ELP のルールの本体に DL で始まる原子式を記述する (表 2 参照).

### 4.2 議論の流れ

議論の流れは, Server が各 Client に議題に対する論証を作成するよう依頼し, Client は論証を作成, Server へと返答する. 何も論証を作成できない, もしくは論証を全て送信しきった場合には, その旨を Server へと知らせる. 議論制御部分にはスタックを用い, 議論の進みを対話木で表示する (図 3 参照).

◀ 例 2 ▶ 単位取得に関する教員と学生の議論

カリキュラム・オントロジー (図 2) を参照する教員と学生のエージェントの知識を表 2 に, DL 推論系を介してカリキュラム・オントロジーを参照しながら議論するエージェントシステムの実行例を図 3 に示す.

表 2: オントロジー  $KB_1$  を参照するエージェントの知識

<p>&lt;Lecturer&gt;</p> <pre>~ take_credit_in(ai, st_1, nd_sem) :: t ← a2 :: t &amp;   b2 :: t &amp; not study(st_1, l1, st_sem) :: t. a2 :: t ← DL[course](ai). b2 :: t ← DL[logic](l1). c2 :: t ← DL[course](l1).</pre>
<p>&lt;Student&gt;</p> <pre>take_credit_in(ai, st_1, nd_sem) :: t ← a :: t &amp; b :: t. a :: t ← DL[course](ai). b :: t ← DL[easy_get_credit](ai). study(st_1, l1, se_sem) :: t   ← study(st_1, l2, st_sem) :: t &amp; c :: t. c :: t ← DL[course](l2). study(st_1, l2, st_sem) :: t ← ture. study(st_1, c_programming, st_sem) :: t ← true.</pre>

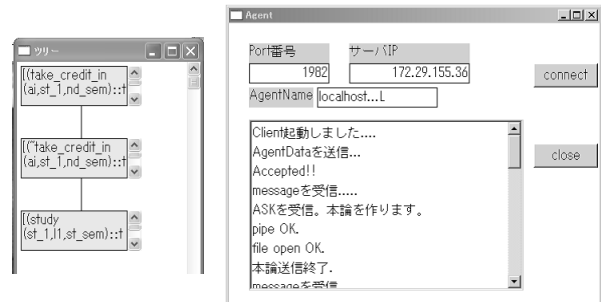


図 3: 議論エージェントシステム実行画面

## 5 おわりに

Heymans らの方法に基づく DL 推論系を C++ と ASP ソルバー: DLV [3] を用いて実装し, 議論するマルチエージェントシステムとの統合システムを開発して, 電子商取引等の種々の事例に適用した. 今後は, より実用的問題への応用と評価を行う予定である.

## 参考文献

- [1] F. Baader et al: The Description Logic Handbook, Cambridge University Press, 2003
- [2] C. Baral : Description Logics and AnsProlog : Knowledge Representation, Reasoning and Declarative Problem Solving, pp.328-335, Cambridge University Press, 2003
- [3] T. Eiter, N. Leone, C. Mateis, G. Pfeifer and F. Scarcello: A deductive system for nonmonotonic reasoning, Proc. of LP-NMR 1997, LNCS 1265, pp. 364-375, Springer, 1997, URL <http://www.dbai.tuwien.ac.at/proj/dlv/>
- [4] M. Gelfond, and V. Lifschitz: Classical Negation in Logic Programs and Disjunctive Databases. *New Generation Computing* 9, pages 365-385, 1991.
- [5] S. Heymans, D. V. Nieuwenborgh, and D. Vermeir: Nonmonotonic Ontological and Rule-Based Reasoning with Extended Conceptual Logic Programs, ESWC 2005, pp.392-407, 2005
- [6] T. Takahashi, H. Sawamura: A Logic of Multiple-Valued Argumentation, AAMAS 2004, pp.789-805, 2004