

# 우선순위 디폴트 규칙 시스템의 의미론<sup>1)</sup>

유희준<sup>10</sup> 배민오<sup>2</sup> 최진영<sup>1</sup>  
고려대학교 정보통신대학 컴퓨터학과<sup>1</sup>  
동덕여자대학교 정보과학대학 전산학과<sup>2</sup>  
{hyoo<sup>0</sup>, choi}@kiss.or.kr<sup>1</sup>  
bai@dongduk.ac.kr<sup>2</sup>

## Semantics of Prioritized Default Rule System

Hee-Jun Yoo<sup>10</sup> Mino Bai<sup>2</sup> Jin-Young Choi<sup>1</sup>  
Dept. of Computer Science & Engineering Korea University<sup>1</sup>  
Dept. of Computer Science Dongduk Women's University<sup>2</sup>

### 요 약

지능형 정보 에이전트 시스템에서 사용되는 디폴트 규칙 시스템의 결론 집합을 생성하기 위한 추론 과정에서 불일치를 발생시킬 수 있는 새로운 모순 상황을 제시하고, 이를 해결할 수 있는 새로운 의미론을 정의한다. 확장 논리 프로그램은 추론된 결과 집합에서 같은 심법이 양의 부호와 음의 부호를 동시에 가진 형태로 존재하는 경우에 모순이 발생하게 된다. 확장 논리 프로그램에 기반을 둔 디폴트 추론 시스템에서도 이런 모순을 가지게 되며, 이 문제를 해결하기 위한 방법이 정의되어 있다. 하지만, 비단조 추론을 하는 디폴트 규칙 시스템에서는 이런 문제 외에도 모순이 발생하게 된다. 하지만, 기존의 연구에서는 이러한 문제를 해결하는 방법이 고려되지 않았다. 최근에 들어서 디폴트 규칙 시스템은 지능형 에이전트에 내재되면서 에이전트간의 협상과 업데이트 등에 많이 사용되고 있다. 만일, 에이전트 내에서 규칙 시스템이 모순 상황이 발생하는 경우 예기치 않은 손실이 발생하게 된다. 따라서 결론 집합을 일관성 있게 추론하는 것은 지능형 에이전트 시스템의 신뢰성을 높이기 위해서 반드시 필요한 사항이다. 더욱이 에이전트 시스템의 사용분야가 지속적으로 늘어나는 상황에서 기존에 제안된 모순 이외에 각 분야에서 특성에 따라서 발생 가능한 모순이 발생하게 되며, 이 문제를 해결하는 것이 중요한 문제이다. 본 논문에서는 기존에 정의된 모순 외에 발생 가능한 문제점을 제시하고, 이를 해결하기 위한 새로운 규칙 시스템의 의미론을 정의하였다.

## 1. 서 론

디폴트 추론(Default Reasoning)[1]이란, 추론에 있어서 반대되는 혹은 가정되는 어떠한 정보도 존재하지 않을 경우에 결론으로 유도되도록 추론하는 방법이며, 현재에 와서는 웹상에서 사용되는 지능형 정보 에이전트들의 응용 프로그램에 광범위하게 사용되고 있다. 디폴트 규칙 시스템은 디폴트 추론을 사용하는 확장 논리 프로그램의 기반으로 확장된 논리 프로그램이다. IBM의 Groszof의 커티어스 논리 프로그램(CLP:Courteous Logic Program)[2]도 이러한 디폴트 추론의 일종이다.

이러한 논리 프로그램(LP)[3]들은 룰 기반의 지능형 에이전트에 이용되었으며, 에이전트들은 정보 아이템들의 흐름을 제어하게 된다. 이들의 업무는 아이템을 찾고 필터링할 뿐만 아니라, 분류, 우선순위를 매기고 저장, 관리하며, 선택적으로 포워드 시키는 등 다양한 기능을 가지고 있다. 만일, 이런 에이전트들의 규칙 시스템 상에 문제가 발생한다면, 파생되는 문제는 시스템의 기능 상실로 인한 잠재적인 재정 손실 등의 큰 손실을 야기하게 된다. 확장 논리 프로그램(ELP:Extended LP)에서는

규칙 간의 충돌을 같은 명제가 양의 부호와 음의 부호를 동시에 갖는 경우만으로 국한하여 정의하였다. 따라서 디폴트 규칙 시스템 역시 같은 충돌에 대해서만 해결할 수 있는 의미론을 제공한다. 하지만, 디폴트 추론의 특성 상 이외의 다양한 추론상의 문제점을 내포할 수 있다. 우리는 규칙간의 추론 상에서는 충돌이 발생하지만, CLP와 같은 기존의 연구에서는 해결할 수 없는 문제점을 제시하고, 해결할 수 있는 새로운 디폴트 규칙 시스템의 의미론을 정의한다.

이후의 논문은 2장에서 CLP에 대해서 소개하고, 3장에서 기존의 의미론에서 발생할 수 있는 문제를 언급한 후, 4장에서 언급된 문제를 해결하기 위한 우리의 방법을 제시한 후, 5장에서 결론 및 향후과제를 언급하면서 마무리 하겠다.

## 2 커티어스 논리 프로그램

CLP는 레이블이 있는 규칙들의 집합으로 정의되며, 별도의 예약 술어(reserved predicate)로 *Overrides*라는 우선순위 술어(priority predicate)를 포함하고 있다. 규칙의 원자들은 고전적으로 부정될 수 있으며, 규칙은 선택적으로 레이블을 가질 수 있다. *Overrides(i,j)*는 레이블 *i*가 레이블 *j*보다 우선순위가 높음을 의미한다.

1) 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-002-87)의 지원으로 수행되었음.

$$\langle lab \rangle L_0 \leftarrow L_1 \wedge \dots \wedge L_m \wedge \sim L_{m+1} \wedge \dots \wedge \sim L_n \quad (1)$$

lab은 규칙의 레이블이며  $L_0$ 는 헤드, 나머지 부분은 바디라고 부른다.  $\neg$ 은 고전적인 부정기호이며,  $\sim$ 는 니게이션-에즈-페일 뉴어(negation-as-failure) 기호이다.  $L$ 은 문자(Literal)를 의미하며, 긍정(positive)과 부정(negative)을 가질 수 있다. 바디가 없는 그라운드 규칙을 사실(fact)이라고 부른다.  $CLP^{nsid}$ 는 논리 프로그램  $CLP$ 안의 각 규칙을 자신의 가능한 그라운드 실체화(ground instantiation)의 집합으로 대치함으로써 얻어진  $CLP$ 을 의미한다.  $Ruleocale(p)$ 는 규칙의 헤드에  $p$ (긍정 혹은 부정)를 가지는  $LP^{nsid}$  안의 규칙들의 부분 집합이다.  $CLP$ 는 다음과 같은 제약을 갖는다.

- 1)  $CLP$ 는 비순환(acyclic)하다.
- 2) 우선순위는 프로그램 내에 긍정의 사실(fact)에 대해서만 언급된다.
- 3)  $CLP$  안의 이러한 우선순위 된 사실에 대한 집합은 레이블들 간의 강한 부분 순서(strict partial order)인 우선순위 관계를 가진다.

$CLP$ 는 결론 집합(answer set)을 생성하기 위해서  $\rho$ 라는 원자열(atom sequence)을 사용한다.  $\rho = p_1, \dots, p_m$ 로 표현되며, 원자열은 해당 논리 프로그램 완전 실체화한 후에 나온 모든 그라운드 원자의 나열로 순서는 원자 의존 그래프(dependency graph)에서 원자를 역-방향 위상 정렬(reverse-direction topology sort)하여 생성하며,  $\rho$ 는 원자들의 완전 계층화(total stratification)가 되며, 우선순위가 높은 원자가 낮은 원자보다 선행한다.  $p_i$ 가 원자열의  $i$ 번째 그라운드 원자를 의미하며, 결론 집합은 다음 같은 순서를 반복하며 생성된다.

$$S_0 = \emptyset$$

$$S_i = \cup_{j=1, \dots, i} T_j, i \geq 1$$

$$S = \cup_i T_i$$

$$T_i = \{ \sigma p_i \mid Cand_i^\sigma \neq \emptyset, \forall k \in Cand_i^\sigma, \\ \exists j \in Cand_i^\sigma. S_{i-1} \models Overrides(j, k) \}$$

$$Cand_i^\sigma = \{ j \mid labels(j, r) = \sigma p_i, \\ S_{i-1} \models Body(r) \}$$

$\sigma$ 는 부호를 의미하며,  $label(j, r)$ 은 규칙  $r$ 이 레이블  $j$ 를 갖는 것을 의미한다.  $Head(r)$ ,  $Body(r)$ 은 규칙  $r$ 의 헤드와 바디를 의미한다. 자세한  $CLP$ 의 문법 및 의미는 [6]을 참고하면 된다.

### 3. CLP에서 발생할 수 있는 문제

$CLP$ 에서 규칙 간의 충돌에 있어서 헤드에 있는 명제가 긍정과 부정으로 모두 추론 되는 경우에만 충돌로 간주하며, 이 경

우에 대해서만 Override 규칙을 적용하게 된다. 하지만, 비 단조(non-monotonic) 추론에 있어서 같은 명제가 아닌 다른 명제들 사이에서도 모순이 발생할 수도 있다. 다음 정의는 지구상의 존재하는 생물에 대한 국제적인 협약이다.

[정의 3.1] 세상에 존재하는 모든 생물은 유일한 하나의 종으로 분류된다. 즉, 지구상에는 두개 이상의 종을 갖는 생물은 없다.

예제 3.2는 논리 프로그램 상에서는 아무 문제가 없는 논리 프로그램이지만, 결론으로 고래는 동시에 포유류와 어류가 되기 때문에, 정의 3.1에 의하여 모순이 발생하게 된다.

[예제 3.2] 동물에 대한 분류에 있어서 바다에서 생활하는 동물은 어류로 분류된다. 하지만, 바다에 살지만, 고래와 같이 태반을 가지는 동물은 포유류로 구별된다. 이런 분류에 대한 규칙 시스템을 구성하면 다음과 같다.

```

<Wat> Fishes(?ani) ← LiveInWater(?ani)
<Pla> Mammal(?ani) ← HasPlacenta(?ani)
Overrides(Pla, Wat) ←
LiveInWater(whale) ←
LiveInWater(fish) ←
HasPlacenta(whale) ←
whale ←
fish ←
    
```

위와 같이 정의된 논리 프로그램을  $CLP$ 를 사용하여 추론할 경우에는 우리가 기대하는 결과를 얻을 수 없다. 우리가 원하는 결과는 논리 프로그램이 고래가 포유류인 사실인 {Mammal(whale)}만이 결론으로 추론 되어야 하지만,  $CLP$ 를 사용한 추론의 결론 집합은 {Fish(whale), Mammal(whale)}이 된다. 이것은  $CLP$ 가 head의 명제가 같은 명제가 아니기 때문에 충돌을 발견하지 못하기 때문에 발생하는 문제이다.

### 4. 제안된 디플트 규칙 시스템의 의미론

앞 절에서 제시된 문제점을 해결하기 위해서 새롭게 정의된 문법은 앞에서 정의된 문제를 해결하기 위하여 서로 다른 명제에 의해서 발생할 수 있는 충돌을 막기 위해서 결론 집합을 추론하기 위한 방법을 기존의  $CLP$ 와 다르게 정의하였다. 먼저, 의존 그래프와 계층화에 대하여 설명한 후, 제안된 의미론을 설명하겠다. 우선, 정의한 계층화(stratification)는 다음과 같다.

[정의 4.1] 논리 프로그램  $LP$ 의 심벌의 집합에 대한 파티션  $\pi_0, \dots, \pi_k$ 를  $LP$ 의 계층화라고 부른다. 식 (1)과 같은 형식으로  $p \in \pi_s, 0 \leq s \leq k$ 이고,  $L_i \in Ruleocale(p)$  라면,  
 1)  $\forall 1 \leq i \leq m. \exists q, j \leq s \cdot q \in \pi_j, L_i \in Ruleocale(q)$   
 2)  $\forall m+1 \leq i \leq n. \exists q, j < s \cdot q \in \pi_j, L_i \in Ruleocale(q)$

계층화된 논리 프로그램[4]의 의미론에서 중요한 개념은 의존 그래프이다. 원자 의존 그래프(ADG)는 그라운드 원자들을 점(vertex)로 표시하고, 선(edge)은  $\langle p_i, p_j, s \rangle$  형태의 레이블을 가진다.  $LP^{inst}$  안의 규칙  $r$ 이 헤드로  $p_i$ , 바디로  $p_j$ 를 가지며, 바디 안에 니게이션-에즈-페일뉴어를 가지고 있는지 여부에 따라서  $\sim$ 가 있으면 -, 없으면 + 로 표시한다. 즉,  $s \in \{+, -\}$  이다. ADG는 방향을 가지는 비순환 그래프(DAG:Directed Acyclic Graph) 이기에 강한 부분 순서처럼 보여 질수 있다.[5]

[정의 4.2] 연구에서 사용한 계층화된 원자열은 다음과 같다.

$$\rho = p_1, \dots, p_n \quad p_i \in LP^{inst}$$

위에서 정의된  $\rho$ 를 사용하여 결론 집합을 추론하는 방법은 다음과 같다.

$$S_0 = \emptyset$$

$$S_i = \cup_{j=1, \dots, i} T_j, i \geq 1$$

$$S = \cup_i T_i$$

$$T_i = \{ \sigma p_i \mid \text{Cand}_i^\sigma \neq \emptyset, \forall k \in \text{Cand}_i^\sigma. \\ \exists j \in \text{Cand}_i^\sigma. S_{i-1} \models \text{Overrides}(j, k) \} \\ \cup \{ \sigma p_i \mid \forall j. \text{label}(j, r), \text{Head}(r) = \neg \sigma p_i, \\ \exists k. \text{label}(k, s), S_{i-1} \models \text{Body}(s), \text{Overrides}(k, j) \} \\ \text{Cand}_i^\sigma = \{ j \mid \text{labels}(j, r), \text{Head}(r) = \sigma p_i, \\ S_{i-1} \models \text{Body}(r) \}$$

위의 단계를 살펴보면, 단계별로 후보가 되는 명제를 찾는 부분까지는 CLP와 같지만, 각 단계상에서 결론을 도출하기 위한 집합에서 서로 다른 명제에 의해서 충돌이 발생하는 것을 발견할 수 있는 집합을 추가 하였다. 따라서, 예제3.1를 정의된 제안된 규칙 시스템을 이용해서 추론하면 결과 집합( $S$ )은 {Mammal(whale), Fish(whale)}이 된다.

아래의 정리들은 CLP와 우리의 추론 시스템을 비교하기 위해서 증명된 것들이다. 여기서는 자세한 증명은 생략하겠다.

[정리 4.3] 생성되는 결론 집합은 어떤 계층화된 원자열을 선택 해도 같다.

[정리 4.4] 정의된 추론 시스템은 일관성 있는 하나의 결론 집합을 가진다.

[정리 4.5] 정의된 추론 시스템은 CLP의 추론 시스템을 모두 포함한다.

### 5. 결 론

웹상에서 사용빈도가 높아져 가고 있는 지능형 에이전트들의

응용 프로그램들의 역할(role)은 디플트 논리 프로그램들의 규칙들을 이용해서 기술 되어있다. 이런 지능형 에이전트들은 정보 아이템들의 흐름을 제어하게 된다. 이들의 업무는 아이템을 찾고 필터링할 뿐만 아니라, 분류, 우선순위를 매기고 저장, 관리하며, 선택적으로 포워딩 시키는 등 다양한 기능을 가지고 있다. 이런 에이전트들의 룰 시스템 상에 문제가 발생한다면, 에이전트들은 제 기능을 수행할 수 없으며, 작성된 룰과는 반대의 경우로 행동을 하여 시스템의 기능 상실로 인한 잠재적인 재정 손실 등의 큰 손실을 야기하게 된다.

이전의 연구로 Grosf는 이 문제를 해결하기 위해서 우선순위를 제공하는 디플트 논리를 정의하였다. 하지만, 그는 룰 간의 충돌을 같은 명제가 다른 부호를 갖는 경우로 국한하여 정의하였다. 하지만, 디플트 추론의 특성 상 이외의 다양한 추론상의 문제점을 내포할 수 있다. 우리는 여기서 CLP에서 해결할 수 없는 문제점으로 서로 다른 명제에 의해서도 충돌이 발생할 수 있는 경우이다. 우리는 위에서 제시된 문제를 해결할 수 있도록 CLP의 문법과 의미를 수정하여, 제시된 문제점에 대해서도 항상 일관성 있는 결과 집합을 추론할 수 있는 새로운 디플트 규칙 시스템을 제시하였다. 제시된 문제점을 예제를 통한 비교로 문제가 해결됨을 확인할 수 있었다. 이 결과 지능형 에이전트 응용프로그램에서 발생할 수 있는 몇 가지 추가적인 오류를 수정함으로써, 지능형 에이전트 기반 시스템이 보다 신뢰성 있는 동작을 수행할 수 있을 것으로 보인다.

디플트 규칙 시스템의 또 다른 문제점은 같은 명제가 다른 규칙에 의해서 추론됨으로 인해서 야기하게 되는데, 이 문제가 해결되는 완벽한 시스템 의미를 구현한 후, 웹 응용 프로그램에서 실질적으로 적용 가능하게 관계 대수(relational algebra)로 변환하여 SQL문으로 표현할 것이다.

### 6. 참고 문헌

- [1] R.Reiter, A Logic for Default Reasoning, Artificial Intelligence, 1980, 81-132
- [2] Benjamin N. Grosf, Prioritized conflict handling for logic programs. In Jan Maluszynski, editor, *Logic Programming : Proceedings of the International Symposium(ILPS-97)*, MIT Press, 1997
- [3] Gerhard Brewka, Reasoning about priorities in default logic, *In Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94)*, pages 940-945, Menlo Park, CA / Cambridge, MA, 1994. AAAI Press / MIT Press.
- [4] J. W. Lloyd, *Foundations of Logic Programming* 2<sup>nd</sup> Edition, Springer-Verlag, 1987.
- [5] Chitta Barel and Michael Gelfond, Logic programming and Knowledge Representation, *Journal of Logic Programming*, 19, 20 : 73-148, 1994. Includes extensive review of literature.
- [6] Benjamin N. Grosf, Courteous Logic Programs : Prioritized Conflict Handling For Rules, IBM Research Report, RC 20836, 1997.