

○ 이 강의 차 국한 최 중수
중앙대학교 전자공학과 영상정보 연구실

A STUDY ON NON-MONOTONIC REASONING SYSTEM

LEE KANG HEUY. CHA, KUK CHAN. CHOI JONG SOO.
DEPT. OF ELECTRO. ENG. CHUNG-ANG UNIV.

ABSTRACT

Non-monotonic logic is one in which the introduction of new axioms can eliminate old theorems. Such logic is very important in modeling the beliefs of the systems which, in the presence of complete information, must make and subsequently revise assumptions in light of new observations. In the present paper, we suggest that the formal systems, such as Reiter's default logic could be the useful implement for the specification and description of non-monotonic systems. We develop a theory of inheritance network in order to illustrate the benefits of this theory

I. 서론

인간은 추론을 하는데 상식을 많이 이용하고 있다. 논리적인 용어로는 prototypic 또는 default 한 말이 된다. 인간이 일상적으로 하는 결정이라든지 추론은 확고한 확신을 갖고 하는 것은 별로 없다. 별로 힘들이지 않고도 선택된 결론 혹은 방침에 대해 이의를 제기하는 가능한 사실들을 얼마든지 찾아볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 우리 인간은 여전히 결정을 과감히 하면서 행동을 취해 나가고 있다. 그리하여 인공지능 연구자들은 여러가지 불확실한 상황에 대해서 완전하고 정확한 지식 없이도 강력저력 잘 대처해 나가는 이러한 능력을 연구하는 데 많은 노력을 기울여 왔다. 그리하여 이러한 내용을 구현 하려고 많은 시스템들이 제안 되었으나 불행히도 그들은 너무나 구조적이지 못하여 수행 정도를 이해하기도 힘들 뿐더러 정확함도 계속 하기가 어려웠다.

본 논문에서는 다소의 부정확함 및 불완전성을 가지지만 비단조 추론 이론을 이용하여 기존의 의미 네트워크로는 추론이 불가능 하였던 예외를 수반하는 사실들에 대해서도 추론이 가능한 비단조 네트워크 이론을 제안 하였다.

의미 네트워크는 인공지능에서 지식 표현 및 추론 방식의 하나로 각각의 노드에 지식을 저장할 수 있으며 또한 상위 개념으로부터 하위 개념으로 node를 통해 개념이 갖는 성질이 전달될 수 있다는 상술의 성질로 부터 추론을 쉽게 할 수 있으며 또한 컴퓨터 실연이 용이한 장점으로 인해 효용성을 널리 인정 받아왔다. 그러나 예외를 수반하는, 즉 불완전한 세계에서는 기존의 의미 네트워크는 더이상 그 기능을 발휘하지 못하는 단점을 갖는다.

2. 본론

2-1. 단조 추론과 비단조 추론

가. 단조 추론

데이터 베이스 내에있는 모든 지식 및 루음들은 모두 독립적이기 때문에 이들 상호간에 서로 아무런 영향을 미치지 못한다. 이러한 추론 형태를 갖는 시스템의 특징으로는 첫째 새로운 정보가 시스템에 부가 되었을 경우 이 정보와 과거의 지식 사이에 모순이 있는가 없는가 체크할 필요성이 없으며 둘째로 일단 증명이 된 사실에 대해서 증명을 하기 위해 다른 정보를 기억할 필요가 없다. 왜냐하면 이러한 추론 시스템에서는 일단 지식 베이스 내에 들어온 정보는 사라질 염려가 없기 때문이다. 그러나 실제 세계 문제 영역에서는 불충분한 정보, 변화 상황, 가장 수립등의 문제들로 인해 이러한 추론 구조로서는 처리가 불가능한 많은 경우가 발생하게 된다.

나. 비단조 추론

불충분한 정보로 부터의 추론 방식으로 어떠한 제안에 대하여 support를 가하는 것이다. 즉 그제안에 대한 어떤 다른 특별한 의미가 없는한 그 제안을 사실로서 받아들이는 형태이다. 예를들면 중로로 가는데 버스를 타고가자는 제안이 있을경우 다른 특별한 경우(버스 회사가 strike를 해서 지금 버스가 운행 안된다. 또는 마라톤 경기 관계로 일시 노선이 중단 되었다.) 등의 정보가 없는한 버스를 타고갈 수 있다. 이러한 추론을 일경우 몇가지 기계적 구성이 요구 된다. 첫째, 한가지 제안을 support할 충분한 증거를 결정하는 절차 즉, 나머지 제안들과 어긋나지 않다는 증거가 필요하며 둘째, 이러한 시스템은 한때 반증이 없다가 후에 모순으로 간주될 가능성을 항상 내포하고 있으므로 그러한 반증을 해결할 절차를 요구 한다.

이러한 추론 방식의 이론적 배경으로 R.Reiter, J.McCarthy, J.Doyle등은 default logic 혹은 circumscription이라는 이론을 가지고 비 단조 추론을 이론화하고자 하였다.

2-2. 디플트 로직에 대한 소개

디플트 로직은 추론 및 추측을 할 수 있는 틀로서 사실 집합(W)과 상호 작용하여 first-order logic의 세계에서는 추론될 수 없었던 내용들이 디플트 로직의 세계에서는 추론가능할 경우도 있다. 다시말하면 디플트 틀에서 전제부를 알고 그들의 정당화부가 모순이 없는 것으로 판정되면 즉 부정의 사실이 발견되지 않는한 결론부를 추론할 수 가있다. 그러나 이때 얻어진 결론은 하나의 belief가 되어 후에 정당화부가 부정되면 revision이 가능하다.

이와같이 하나의 디플트의 정당화부를 부정하는 새로운 정보가 들어오면 이전에 얻어진 결론이 무효로 될 수 있기 때문에 디플트 틀을 비단조적이라 볼 수 있다.

디플트는 그것을 정당화 시켜줄 수 있는 사실을 결정하기 위해 증명이 불가능한 것을 이용하므로, 다시말해 정당화될 수 있는 사실이 증명될 수 없는 것을 결정할 뿐만 아니라 그것에 의해 결정되므로 이러한 순환성(circularity)을 피할 수 있는 제약조건(constraints)을 부여할 필요성이 존재한다.

여기서 이러한 조건을 만족하는 디플트를 확장된 디플트라고 정의하며 이들을 집합 E라는 기호로 표시하면 E는 다음과 같은 성질을 갖게된다.

- (1) $W \in E$
- (2) $Th(E) = E$
- (3) 각각의 디플트 $(A: B_1, \dots, B_n) / w_i$ 에 대해 if $A \in E, \neg B_1, \dots, \neg B_n \notin E$ then $w_i \in E$

이러한 성질을 기술하면 E는 모든 기지의 사실들을 포함해야하며 E는 (1)관계에 대해 닫혀있어야 하며 전체부가 E에 속하는 디플트의 결론부는 반드시 E에 포함된다.

디플트 집합 D상의 모든 디플트들은 이와같은 조건을 만족하면 W상의 사실 집합에 속하는 1차 논리식의 사실들을 확장하는 것으로 간주될 수 있다. E라는 집합은 불확실성이 내포된 세계에서 유일한 사실집합으로 해석될 수 있다.

2-3. 디플트 로직에 의한 추론

임의의 논리식이 있을경우 다음의 조건이 만족되면 E에 포함될 수 있다. 조건: 1. W에 포함될 것

2. E집합내에 그것을 부정하는 사실이 없을 것

3. 디플트의 경우 전체부가 E에 포함되어 정당화부가 부정당하지 않을 것

하나의 디플트 이론에서 각각의 E는 정당화 되었고 확장된 사실들이므로 임의의 디플트 추론 시스템에서 추론된 결과를 단일한 E에 속하도록 제한해 주어야한다. 다시말하면 한 논리식이 어떠한 E에도 포함되지 않거나 결론이 서로다른 E로 부터 유도되었을 경우 그 결론은 모순을 가질 수 있기 때문이다. 예를들면 다음과같은 이론이 있을경우

$$W = \{ \text{자동차}(A) \vee \text{자동차}(B) \}$$

$$D = \left\{ \begin{array}{l} \neg \text{자동차}(x) \\ \text{자동차}(x) \end{array} \right\}$$

위에서 E의 정의에 따라서 E를 구하면 두개의 E를 얻게된다.

$$E_1 = \{ \neg \text{자동차}(A), \text{자동차}(B), \text{자동차}(A) \vee \text{자동차}(B) \}$$

$$E_2 = \{ \text{자동차}(A), \neg \text{자동차}(B), \text{자동차}(A) \vee \text{자동차}(B) \}$$

이 경우 $(\neg \text{백돌}(a) \wedge \neg \text{백돌}(b))$ 또는 백돌 백돌은 수금에 가는 가정이지만 서로 다른 E로 부터 유도된 것이므로 모두 모순으로 판명된다.

2-4. E의 생성

지금까지는 E를 가지는 이론들을 설명 하였다. 이 절에서는 E의 생성에 관해 알아 본다. REYTER는 E

는 반복적으로 생성될 수 없으며 또한 어떤 Formula가 한 theory내의 E에 속하는지 안하는지 결정하기가 불가능하다고 제안한바 있다. 이러한 비간접적인 견해에 대해 연구가 잠시 침체되었다. 그러나 본 논문에서는 앞에서 제안된 E의 정의에 따라 반복 알고리즘으로서 finite default에 대해서 모든 E를 구할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

```

H0 ← W; j ← 0;
repeat
  j ← j + 1; hj ← W; GDj ← {} ; i ← 0;
  repeat
    Di ← { A ∈ E | (A: B) (hj-1: B) (Hj-1: B) }
    if null(Di - GDj);
    choose δ from (Di - GDj);
    GDj+1 ← GDj ∪ {δ};
    hj+1 ← hj ∪ {CONSEQUENT(δ)} endif;
    i ← i + 1;
  until null(Di-1 - GDi-1);
  Hj ← hj-1;
until Hj = Hj-1
    
```

위의 절차를 기술하면 다음과 같다. E는 연속적인 근사값들 H에 의해 구해진다. 각각의 근사치 H(i)는 디플트 틀을 적용시키므로서 W집합내의 1차 논리식들로부터 한번에 하나씩 생성된다. 각각의 단계에서 적용될 디플트가 선택된다. 그러나 이때 그것은 적용된적이 없는 것이어야 한다. 또한 이것의 전체부가 가지어야하며 정당화부가 이전의 근사값과 현재까지의 근사값들과 모순이 없어야한다. 적용될 디플트가 더이상 없을때는 다음 근사값까지 절차는 계속된다. 두개의 연속적인 근사값이 같을때 비로서 절차는 끝난다.

본 알고리즘에 대한 이해를 돕기 위해 한 예를 들면 다음과 같다.

$$W = \{ A \}$$

$$D = \left\{ \begin{array}{l} A: B \quad A: C \quad B: D \quad B: \neg D \wedge \neg C \\ B \quad C \quad D \quad \neg D \end{array} \right\}$$

본 알고리즘은 다음과 같은 근사치 열을 얻을 수 있을 것이다.

$$H_0 = \{ A \}$$

$$H_1 = \{ A, B, \neg D, C \} \quad H_0 = \{ A \}$$

$$H_2 = \{ A, B, C \} \quad H_1 = \{ A, C, B, D \}$$

$$H_3 = \{ A, B, D, C \} \quad H_2 = H_1$$

$$H_4 = H_3$$

이들로 부터 최종 하나의 E = { A B C D } 를 갖게 됨을 알 수 있을 것이다.

2-5. Network Default Reasoning

이 절에서는 지금까지 설명한 디플트 이론을 이용하여 기존의 의미 네트워크가 처리하지 못하던 예외적인 사실들에 대해서도 추론을 가능하게 하는 디플트 네트워크 이론을 제안한다.

의미 네트워크는 오래동안 AI에서 지식표현 및 추론 방법으로서 매우 효과적인 것으로 현재까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 이 방식의 특징은 ISA계승에의해서 각 노드에 정보를 저장할 수 있다는 것이다. 예를들면 "개, 코끼리, 사람은 새끼를 보호한다."라는 사실은 "MAMMAL" 노드에 저장이 된다. 그리하여 임의의 그룹의 한 개체의 성질은 이러한 추론 구조에서는 보다 간단한 추론 절차에 의해 얻어질 수 있다.

그러나 애초하게도 실제세계는 이처럼 단순하지는 않다. 즉 일괄적으로 tree구조 처럼 계층이 정해져 있는것이 아니라 때로는 예외라는 개념이 개입된 복잡한 구조로, 개선해야만 할 경우가 있다. 바로 이러한 점이 표현의 비단조성을 부여하여야만 하는 이유가 될 수 있다고 하겠다.

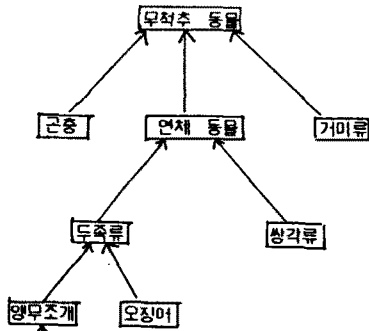


그림 1) fragment of a taxonomy

예외가 없는 경우에는 위의 그림처럼 taxonomy 구조를 갖는 상속 네트워크로 표시할 수 있으며 상응하는 1차 논리식의 표현으로도 가능하다.

- 앵무조개(A)
- $\forall x. \text{앵무조개}(x) \supset \text{두족류}(x)$
- $\forall x. \text{두족류}(x) \supset \text{연체동물}(x)$
- $\forall x. \text{연체동물}(x) \supset \text{무척추동물}(x)$
-

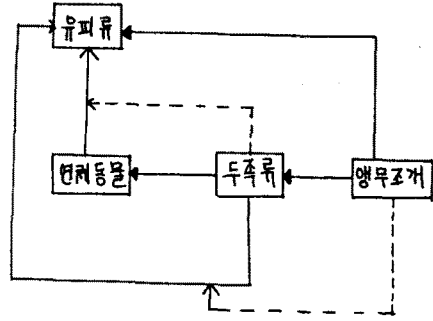
그러나 예외를 수반하는 경우에는 앞 절에서 밝힌 디플트 이론에 약간의 제한 요소를 두어서 기존의 네트워크 이론이 가진 성질들을 최대한 살리며 시스템의 성능을 조금도 감소 시키지않고 그 기능을 보완하고자 하였다. 다음과 같은 제약조건들을 두어서 네트워크 디플트를 정의한다.

- 조건 1) P집합은 literals만으로 구성된다. (예 P(x), -P(x))
- 조건 2) D는 N-, SN- default만을 포함한다.

2-6. 추론 예

다음에서 우리는 일반적으로 불 확실한 세계에서의 한 가지 사실을 가지고 지금까지 설명한 이론을 이용하여 추론한 예를 보인다.

- . 연체류는 보통 겁질을 가지고 있다.
 - . 두족류는 본류상 반드시 연체류에 속하게 보통은 겁질을 가지고 있지않다.
 - . 앵무 조개는 반드시 두족류에 속하게 겁질을 가지고 있다.
- 위의 사실들을 앞에서 정의한 네트워크에 의해 도식화하면 그림 3과같다..



위의 사실들을 앞에서 세운 알고리즘에 적용 시키기위해 디플트 논리식으로 표현하면 다음과같다.

$$D = \left\{ \frac{\text{연체류}(x) : \text{유피류}(x) \wedge \neg \text{두족류}(x)}{\text{유피류}(x)} \right\}$$

$$W = \left\{ \begin{aligned} &\forall x. \text{두족류}(x) \supset \text{연체류}(x), \text{앵무조개}(x) \supset \text{두족류}(x), \\ &\text{앵무조개}(x) \supset \text{유피류}(x) \end{aligned} \right\}$$

이때 특정한 앵무 조개가 주어지면 다음과 같은 근사치 값을 생성하게 최종의 E를 찾으면

- $H_1 = \{ \text{두족류}, \text{유피류} \}$
- $H_2 = \{ \text{두족류}, \text{유피류}, \text{무피류}, \text{연체류} \}$
- $H_3 = \{ \text{두족류}, \text{유피류}, \text{연체류} \}$
- $H_4 = \{ \text{두족류}, \text{유피류}, \text{연체류} \}$

$$E = \{ \text{연체류}, \text{두족류}, \text{유피류} \}$$

를 갖게된다. 그리고 두족류가 주어진다면 $E = \{ \text{무피류}, \text{연체류} \}$ 를 최종 E로 갖게될 것이다.

3. 결론

본 논문에서는 비단조 추론의 한 방법인 디플트 논리를 설명 하였으며 E의 정의 및 생성 알고리즘을 제안 하였으며 이를 의미 네트워크에 응용하여 기존의 의미네트워크가 알수 없었던 불확실한 세계에서의 추론도 가능성을 시사 하였다. 그러나 아직은 이론면에서 미흡한 점이 많은 것으로 사료된다. 현재 우리는 이러한 미비점을 계속 보완 연구하고 있으며 보다 인간에 가까운 추론을 할 수 있는 시스템을 개발 중에 있다.

REFERENCE

1. Winograd, T.(1980) Extended inference modes in reasoning by computer system. Artificial Intelligence. 13 pp.5-26.
2. Reiter, R. Criscuolo, G.(1980) On interacting defaults. Proc. 7th IJCAI pp. 270-276.
3. McDermott, D.(1982) Non-monotonic logic II: non-monotonic modal theories. Journal of ACM. 29(1),pp. 33-57.

4. Haas, A. (1981) Reasoning about deduction with unknown constants. Proc. 7th IJCAI, pp. 382-384.
5. Moore, R. (1983) Semantical consideration on non-monotonic logic. Proc. 8th IJCAI, pp. 272-279.
6. Reiter, R. (1980) A logic for default reasoning, Artificial Intelligence 13(1,2) pp. 81-132.
7. McDermott, D. Doyle, J. (1980) Non-monotonic logic I. Artificial Intelligence. 13(1,2) pp.41-72.
8. Rich, E. (1983) Default reasoning as likelihood reasoning. Proc. AAAI_83.
9. Sandewall, E. (1972) An approach to the frame problem and its implementation. Machine Intelligence 7.
10. Weyhrauch, R. (1980) Prolegomena to a theory of mechanized formal reasoning. Artificial Intelligence, 13 (1,2) pp. 133-170.

rauch,
at