

# 유연한 추론을 위한 하이브리드 구조

안홍섭\*, 노희섭, 김명원  
송실대학교 컴퓨터학부

## A Hybrid Architecture for Flexible Reasoning

Hongsub Ahn, Hesub Rho, Myung Won Kim  
School of Computing, Soongsil Univ

### 요약

본 연구팀에서는 기존의 기호주의 전문가 시스템의 경우 지식표현 체계가 의미구조를 반영하지 못함으로써 발생하는 전직성문제 해결하기 위해 CSN(Connectionist Semantic Network) 모델을 제안하였다. 그러나 CSN 모델은 상위 개념간의 관계를 표현하기 위해 단순한 전향 신경망을 사용함으로써 상위개념간의 일관적이고 구조화된 지식표현 및 추론에 어려움이 있었다. CSN 모델의 이런 문제점을 위해 본 논문에서는 상위개념간의 일관적이고 구조화된 지식표현과 추론이 용이한 기호주의 표현 체계와 이 표현 체계 안에 효과적으로 의미구조를 반영할 수 있는 연결주의 학습 모델인 CSN을 결합한 하이브리드 구조를 제안하고, 실험을 통하여 제안된 하이브리드 구조의 타당성을 보인다.

### 1. 서론

기존의 기호주의 전문가 시스템은 기호체계기 표현하고자 하는 의미구조를 반영하고 있지 못하기 때문에 발생하는 경직성 문제(brittleness problem)로 유연성이 크게 길여되어 있다. 이런 경직성 문제는 기호주의 전문가 시스템의 응용성을 크게 감소시키는 원인이 되었다. 이에 반해 인간의 추론 과정은 이런 경직성 문제를 드러내지 않으며, 본질적으로 상황에 의존적(situation dependent)이며 매우 유연하다.

기존의 기호주의 접근방법의 문제점을 해결하기 위해 신경망에 기반한 추론 시스템들이 연구되고 있으며[1,2,3,4], 이들 시스템은 신경망을 이용하여 기호를 표현하고 이 기호 안에 의미구조를 반영함으로써 보다 유연한 추론 시스템 구축을 목적으로 한다. 그 중 CONSYDERR(CONnectionist SYstem with Dual-representation for Evidential Robust Reasoning) 모델[3]은 Sun이 유사성에 기반한 실식 추론(common sense reasoning)을 위해 제안된 모델이다. 그러나 이 모델은 [4]에서 띠인 것과 같이 유사성만을 가지고 설명할 수 없는 추론과정을 고려하지 않고 있다. 반면에 [4]에서 제안한 CSN은 유사성뿐 아니라 인접성(contiguity)을 이용하여 보다 유연한 추론을 수행할 수 있다. 그러나 위 두 모델은 상위개념간의 관계를 표현하기 위해 단순한 전향 신경망을 사용하기 때문에 상위개념간의 일관적이고 구조화된 지식을 표현하기 어려운 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 CSN 모델처럼 신경망을 기반으로 유사성과 연관성을 이용한 유연한 추론 및 학습 메커니즘과 상위개념간의 일관적이고 구조화된 지식표현과 추론이 용이한 기호주의 접근방법을 결합한 하이브리드 구조를 제안한다. 또한 본 논문에서 제안된 하이브리드 구조가 기호주의 접근방법이 지니는 경직성 문제와 연결주의 접근방법이 상위개념간의 일관적이고 구조화된 지식을 표현하기 어려웠던 문제점을 해결할 수 있음을 보인다.

본 논문의 2장에서는 유연한 추론을 위한 기존의 대표적인 모

델인 CSN, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 하이브리드 시스템 구조 및 수행과정, 4장에서는 추론예제를 통한 실험결과에 대해서 알아본다. 마지막으로 5장에서는 제안한 하이브리드 구조의 특성에 대한 고찰과 향후 연구방향을 검토한다.

### 2. CSN(Connectionist Semantic Network)

CSN은 프레이밍[5]과 실이중[6,7]에 관한 연구에서 볼 수 있듯이 인간의 기억 및 회상 메커니즘의 근본적인 특징인 개념간의 유사성과 연관성을 이용해 인간과 비슷한 유연한 추론을 수행할 수 있는 지식표현 체계이다.

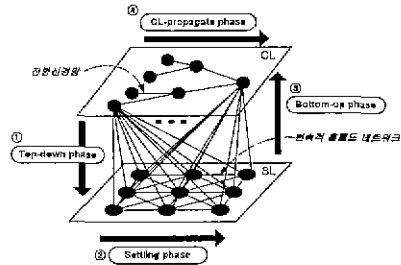


그림 1 CSN의 구조 및 수행단계

CSN은 CL(Concept Level)과 SL(Subconcept Level)의 두 층으로 구성된다. CL은 상위개념들간의 관계를 규칙의 형태로 표현할 수 있도록 신형 신경망으로 구성되어 있다. SL은 CL에 속해 있는 상위개념들에 대한 하위개념들을 노드로 하는 연속적 홉필드 네트워크로 구성되어 있다. CSN의 전체 수행단계는 ①하향단계(Top-down phase), ②안정단계(Settling phase), ③상향단계(Bottom-up phase) 그리고 ④CL-전파단계(CL-propagate phase)의 4단계로 구성된다. 각 단계의 자세한 수행과정은 [4]를 참고한다.

CSN에서 학습은 상위개념에 대한 하위개념들의 관계를 학습하는 단계와 SL내의 노드간의 연결가중치를 학습하는 단계로 되어있으며 기본적으로 Hebbian 학습 규칙을 통하여 이루어진다. 자세한 학습과정은 [4]를 참고한다.

CSN 모델은 상위단계의 지식 표현을 위한 이질적인 메커니즘과 하위단계의 지식표현을 위한 동질적인 메커니즘간의 유기적인 상호작용을 통해 인간의 유연한 추론과정을 모델링하고 있다. 하지만 상위단계의 지식표현을 위해 진행신경망을 사용함으로써 상위개념간의 일반적으로 구조화된 지식표현 및 추론과정에 대한 설명이 어려우며, 새로운 지식의 추가나 삭제의 경우 신경망 노드나 연결가중치를 동적으로 다시 설정해야 하는 어려움이 있다. 이런 문제점의 근본적인 원인은 상위단계 지식표현의 추론을 위한 기호 처리과정이 연결주의 틀 안에서 이루어져있기 때문이다.

### 3. 하이브리드 구조(Hybrid Architecture)

#### 3.1 지식표현 구조

본 논문에서는 제안하는 지식표현 구조는 CSN과 유사하게 상위개념을 표현하는 CL과 SL로 구성되어있으며, 규칙베이스의 각 조건부와 결론부는 CL의 노드들로 이루어져 있다(그림 2)

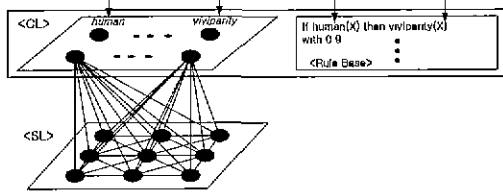


그림 2 지식 표현 구조

CSN이 CL에서 진행 신경망을 이용하여 상위개념간의 관계를 규칙의 형태로 표현한 반면에, 본 논문에서 제안하는 지식표현 구조는 프롤로그를 사용한다. 표현되는 규칙의 형태는 전사가  $P \rightarrow Q$  형태로 명제논리 정형식을 따르는 반면에, 후자는  $P(X, Y) \rightarrow Q(Y)$  형태로 서술논리 정형식을 따른다. 따라서 명제형태로 표현되었던 규칙이 술어와 논리적 변수를 사용하여 규칙을 표현함으로써 상위개념간의 일반적이고 구조화된 지식표현이 가능하게 된다.

SL은 CL에 속해있는 사위개념들에 대한 하위개념들의 노드로 하는 연속적 홉필드 네트워크로 구성되어있는 점은 CSN과 동일하다. 자세한 SL의 구성은 [4]를 참조한다.

#### 3.2 추론과정

전체적인 추론체계(reasoning hierarchy)는 프롤로그 추론엔진에 의한 논리적 추론단계, 허향단계, 안정단계, 상향단계로 구성된다(그림 3). 허향단계, 안정단계 그리고 상향단계는 CSN 모델과 동일하므로 자세한 수행과정은 [4]를 참고한다.

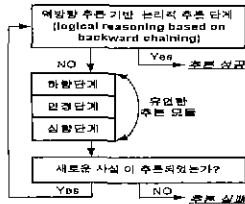


그림 3 추론 체계

먼저 사용자의 질의를 수행해야할 목표로 설정하고 역방향 추론에 기반한 논리적 추론을 수행한다. 이 단계는 논리적 완전 정합(complete matching) 연산을 통해 지식베이스 안의 사실이나

규칙을 이용해 추론을 한다. 이 단계에서는 논리적 완전 정합이 이루어지지 않으면 더 이상 추론이 되지 않는 결직성 문제를 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 논리적 추론이 실패하게 되면 유연한 추론 모듈을 수행한다. 이 모듈에서는 허향, 안정, 상향 단계를 통해서 현재 지식베이스 안의 개념들을 유사성이나 연관성에 의해서 새로운 사실이 도출이 되면 지식베이스를 업데이트하고 다시 논리적 추론을 시도한다. 이렇게 명확히 모든 사실이나 규칙이 주어지지 않더라도 개념간의 유사성이나 연관성을 바탕으로 새로운 사실을 추론하여 보다 유연한 추론을 수행한다.

### 4. 실험결과

본 논문에서 제안하는 하이브리드 구조의 유연한 추론 과정을 보이기 위해 논문에 관한 일심적 답화에 관한 예제를 가지고 실험을 하였다. 실험을 위해서 MS VC++ 5.0과 Amzi' Logic Server 4.1을 가지고 Pentium PC에서 실험을 하였다. 다음은 실험에서 사용한 추론 예제이다.

- 예①) A: 원숭이도 새끼를 낳을까?  
B: 원숭이는 사람하고 비슷하니 새끼를 낳겠지.
- 예②) A: 말은 무리생활을 하나?  
B: 말굽동물은 무리생활을 하나까 말도 무리생활을 하겠지.
- 예③) A: 호랑이는 걸 속니?  
B: 호랑이는 풀무늬가 있으니 잘 숨을 꺼이.
- 예④) A: 날려면 날개가 필요하니?  
B: 새는 날개기 있으니 그루 것 같다.
- 예⑤) A: 거북이는 몸을 잘 보호하니?  
B: 거북이는 등껍질은 방패처럼 생겼으니까 그럴 써야.

표현된 규칙은 '사람은 태생이다', '말굽동물은 무리생활을 한다', '풀무늬가 있으면 잘 숨는다', '새는 난다', '방패가 있으면 몸을 보호할 수 있다'는 5개의 규칙이다. 각 상위개념에 대한 하위개념은 Britannica 백과사전과 온라인 이휘 영문 데이터베이스인 WordNet을 참조하여 구성하였다.

#### 4.1 개념간의 유사성을 이용한 유연한 추론 예

유사성을 이용한 추론 예는 예 ①과 예 ②이다. 예 ②의 경우, 지식베이스 안에 'horse(pony)'이라는 사실을 추가하고, 'crowd(pony)'이라는 목표를 주면 'pony'와 관련된 사실들을 지식베이스에서 찾아서 활성화시킨다. 'horse(pony)'라는 사실에 의해서 'horse' 노드가 활성화되고(그림 4), 허향단계를 거쳐 'horse'의 하위개념들이 활성화된다(그림 5). 안정단계에서는 'horse'의 하위개념들과 관련된 다른 하위개념이 없으므로 별다른 변화가 없게 된다(그림 6). 마지막으로 상향단계를 거쳐 'horse'의 하위개념을 공유하고 있는 다른 상위개념들을 활성화시킨다. 이 과정을 통하여 'horse'와 가장 유사한 개념인 'ungulate'이 두 개념간의 유사성 정도만큼 활성화되고(그림 7), 'ungulate(pony)'라는 새로운 사실이 지식 베이스 안에 추가된다. 이렇게 새로 도출된 사실로 규칙 ② 'if ungulate(X) then crowd(X)'라는 규칙이 적용될 수 있고, 'crowd(pony)'이라는 목표를 추론할 수 있게 된다. 이러한 추론 과정은 '말은 무리생활을 한다'라는 규칙이 없어도 'horse'와 'ungulate'가 유사하다는 사실을 이용하여 유연하게 추론을 할 수 있음을 볼 수 있다. 예 ①의 경우에도 예 ②의 경우와 추론 과정은 비슷하다.

그림 4 'horse'가 활성화된 후 CL

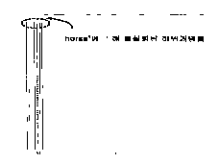


그림 4 'horse'가 활성화된 후 CL

그림 5 허향단계 후 SL

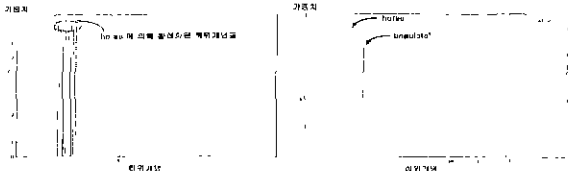


그림 6 안정단계 후 SL

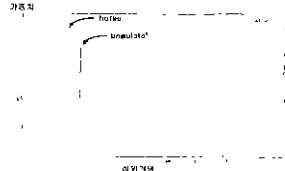


그림 7 7성단단계 후 CL

4.2 개념간의 연관성을 이용한 유연한 추론 예

위의 예에서 개념간의 연관성을 이용한 추론 예는 예 ③, ④, ⑤이다. 예 ③의 경우, 먼저 지식베이스 안에 'tiger(simba)'라는 사실을 추가하고, 'hide(simba)'라는 목표를 주면 'simba'와 관련된 사실들을 지식베이스에서 찾아서 활성화시킨다. 'ugert(simba)'라는 사실에 의해서 'tiger'노드가 활성화되고(그림 10), 하위단계를 거쳐 'tiger'의 하위개념들이 활성화된다(그림 11). 그림 8은 'tiger'의 주요 하위개념의 하나인 'cat\_family'와 다른 하위개념간의 가중치를 그린 것이고, 그림 9는 'stripe'의 주요 하위개념의 하나인 'line'과 다른 하위개념간의 가중치를 그린 것이다. 그림에서 'cat\_family'와 높은 가중치를 가지는 하위개념과 'line'과 높은 가중치를 가지는 하위개념이 공통적이므로 'tiger'와 'stripe'는 서로 연관성이 큼을 알 수 있다 따라서 안정 단계를 통하여 그림 12에서 같이 'tiger'와 연관 있는 'stripe'의 하위개념들이 활성화된다 안정단계를 통하여 'stripe'의 하위개념들이 활성화되었으므로 상황단계를 거친 후에는 'tiger'와 'stripe'가 모두 활성화되고(그림 13), 'stripe(my\_tiger)'라는 새로운 사실이 지식베이스에 추가된다 이렇게 제로 도출된 사실로 규칙 ③ 'if stripe(X) then hide(X)'라는 규칙이 적용될 수 있고, 'hide(my\_tiger)'라는 사실을 추론하게 된다. 이러한 추론 과정은 '호랑이는 잘 숨는다'라는 규칙이 없이도 'tiger'와 'stripe'간의 연관성을 이용하여 유연하게 추론할 수 있음을 볼 수 있다 예 ④의 경우도 마찬가지로 'wing'과 'bird'의 높은 연관성을 이용하여 유연한 추론을 한다. 예 ⑤의 경우는 'turtle'과 'carapace'의 연관성과 'carapace'와 'protection'의 유사성을 이용하여 '거북이의 등껍질은 방패처럼 생겼으니까 몸을 잘 보호할 것이다'라는 추론을 수행한다

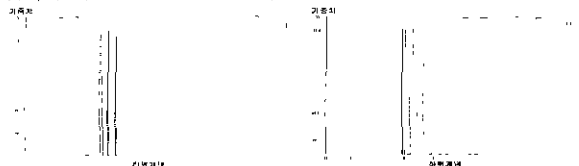


그림 8 'cat\_family'의 다른 SL 노드와의 연결 가중치      그림 9 'line'과 다른 SL 노드와의 연결 가중치

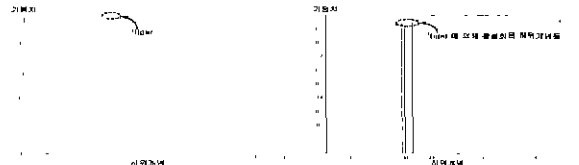


그림 10 'tiger'가 활성화된 후 CL      그림 11 하위단계 후 SL

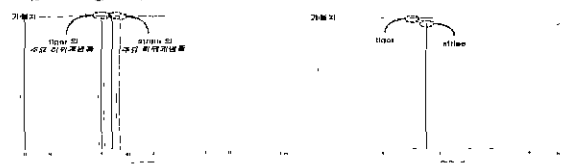


그림 12 안정단계 후 SL      그림 13 상황단계 후 CL

5. 결론

본 논문에서는 기호주의 인공지능 시스템이 언어, 논리 및 추론 등에 있어서 유연성을 크게 결여하고 있는 문제점을 해결하기 위하여 본 연구팀에서 제안했던 CSN 모델이 상위개념간의 일반적인 구조적인 지식을 표현하기 어려웠던 문제점을 해결하기 위한 하이브리드 구조를 제안하였다 CSN이 가지는 이러한 문제점의 원인은 상위단계의 이질적인 지식을 연결주의의 동질적인 매커니즘으로 구현했기 때문이다. 본 논문에서 제안하는 하이브리드 구조는 인간의 추론 과정을 상위 단계의 이질적 지식 표현을 위한 기호주의 접근방법과 하위 단계의 동질적 지식 표현을 위한 연결주의 접근방법으로 추상화하고, 양쪽 단계간에 유사성이나 연관성에 기반한 상호작용을 통한 유연한 추론 과정을 수행할 수 있도록 설계하였다 이로써 상위개념간의 복잡한 지식 표현과 추론에 적합한 기호주의 접근방법과 기호주의 표현 체계에 분산된 가중치 형태로 의미구조를 반영할 수 있는 연결주의 접근방법을 유기적으로 결합시킴으로써, 기호주의 접근방법이 가지는 경직성 문제나 연결주의 접근방법이 상위개념간의 일반적이고 복잡한 관계를 표현하기 어려웠던 문제점을 해결할 수 있음을 보였다

향후 연구 방향으로는 상위개념에 대한 하위개념들을 자동으로 학습할 수 있는 알고리즘을 개발하여 제안하는 하이브리드 구조의 확장성 문제를 개선할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 하이브리드 구조의 활용분야로서 모호한 문맥처리(ambiguous context resolution)나 문맥 의존적인 언어 이해(context dependent text understanding)에 관한 연구가 필요로 된다.

6. 참고문헌

- [1] S Gallant, Connectionist Expert Systems, communication of ACM, VOL. 31(2), pp 152-169, 1988
- [2] DS Touretzky and GE Hinton, A distributed connectionist production system, Cognitive Science, 12:423-466, 1988
- [3] Ron Sun, "A Two-Level Hybrid Architecture for Structuring Knowledge for Commonsense Reasoning", Computational architecture integrating neural and symbolic process A Perspective on the State of the Art, pp 247-281, 1995
- [4] 김영문, 민향우, 김명원, "유사성과 인접성에 기반한 유연한 지식 표현과 추론을 위한 연결주의적 모델", 한국 정보과학회 춘계 발표 논문집, 제 23권, 제 2호, pp. 1033-1036, 1996
- [5] Kintsch, W, "The Role of Knowledge in Discourse Comprehension- A Construction- Integration Model", Psychological Review, Vol. 95, No 2, pp 163-182, 1988
- [6] Roman Jakobson, 일반언어학 이론, pp 45-72, 민음사, 1989
- [7] Martindale, C, 인지심리학 신경회로망적 접근, pp 328-332, 교육과학사, 1994