

□ 기술해설 □

유추방법을 통해서 본 인공지능 이론연구의 새로운 동향

이화여자대학교 박 승 수*

● 목	차 ●
1. 서 론	2.5 증거 유추(Evidential Reasoning)
2. 유추기법의 종류와 방법론적 고찰	2.6 정성적 추론(Qualitative Reasoning)
2.1 상식 추론(Commonsense Reasoning)	2.7 유사 유추(Analogical Reasoning)와 사례기반 유추(Case-Based Reasoning)
2.2 비단조 추론(Nonmonotonic Reasoning)	
2.3 디폴트 추론(Default Reasoning)	3. 모델을 이용한 유추
2.4 인과성 유추(Causal Reasoning)	4. 결 론

1. 서 론

인간의 유추활동(reasoning activity)을 컴퓨터에 실현시키려는 노력은 이해력을 필요로 하는 모든 인공지능 시스템의 지원이론으로서 인공지능의 초기연구 당시부터 수행되어 왔다. 인공지능 초기의 기계정리증명(mechanical theorem proving) 시스템으로부터 시작한 유추방식의 연구는 레졸루션(resolution)[18] 기법의 유행에 힘입어 기호연역(symbolic deduction) 형태의 유추기법이 주류를 이루게 되었다.

70년대 말부터 레졸루션 기법이 강한 반발을 받기 시작하였는데 한가지는 일차논리의 표현력에 대한 문제이고 또 하나는 레졸루션 기법의 효율성에 대한 문제였다. 아이러니컬한 것은 두번째 문제로 지적된 효율성은 불과 십여년 전만해도 레졸루션 기법을 선전하기 위하여 등장하는 주요한 항목이었다는 것이다. 특히 그 십 여년간 가장 괄목의 성장을 한 기술이 CPU의 스피드였다고 생각하면 NP완전성과 비결정성(undecidability)의 영역을 넘보던 댓가를 톡톡히 치루었다고도 볼 수 있다. 그나마 Prolog가 실용화 될 수 있었던 것도 따지고 보면 표현력의 희생을

최소한으로 줄이며 다항식(polynomial)복잡도 영역으로 전환시킬 수 있었던 Horn clause의 사용에 있었다고 볼 수 있는 것이다.

표현력의 문제는 실제에 있어서는 레졸루션기법이 책임질 문제는 아니었다. 다만 레졸루션 초기 당시만 하더라도 일차논리의 우월성에 대하여 의심하는 사람은 거의 없었고 오히려 이론적으로 충분히 검증된 일차논리의 다양한 활용성이 많이 언급되었다. 그렇기 때문에 자연히 레졸루션의 대상 언어로서 일차논리가 다루어졌고 후에 인공지능 시스템들의 실생활 활용에 있어서 여러가지 일차논리의 제약이 부각되기 시작하자 일차논리에 대한 불만이 레졸루션에 대한 불만으로 이어졌던 것이다.

이러한 불만의 표출이 80년대에 상식추론(commonsense reasoning) 혹은 다른 이름의 수많은 유추기법들을 탄생시켰다고 볼 수 있다. 왜이렇게 많은 형태의 유추기법이 제안되었는가 하는 것에 대한 이유는 몇가지가 있을 수 있다. 첫째는 인간의 지능이 그만큼 다양한 면모를 지니고 있다는 것이다. 둘째는 인공지능 학자들의 오랜 전통인 신조어(jargon)에 대한 선호성을 들 수 있다. 인공지능 분야에서는 특히 많은 신조어들이 등장했다가는 사라지기도 하고 두개의 다른

*종신회원

단어가 같은 개념이라는 것이 밝혀져 합하기도 하는 사례가 많이 있었다. 어쩌면 인간의 유추에 대한 정확한 분석이 아직 미비하기 때문에 이와 같이 많은 형태의 유추방법이 제안되었고 앞으로 이들에 대한 연구가 심도있게 진행 되면서 좀더 체계적인 정리가 이루어 지리라 믿어진다.

2. 유추기법의 종류와 방법론적 고찰

최근까지 등장한 유추기법을 여기에 모두 나열할 수는 없지만 이러한 유추기법들을 살펴보면 크게 논리(학)적 접근방식과 비논리(학)적 접근방식으로 나누어 볼 수 있다. 경우에 따라서는 같은 이름의 유추법에 대하여 양쪽 접근방식이 모두 있는 경우도 많이 있다. 여기에서는 이러한 유추기법들이 나오게 된 배경과 이들의 배경이론 및 방법론에 관하여 간단히 살펴보기로 한다.

참고로 이 글에서는 'reasoning'이라는 용어에 대해서 '유추' 혹은 '추론'이라는 표현을 사용하고 있다. 유추나 추론 모두 어떠한 상황으로부터 새로운 사실을 인식, 혹은 추리한다는 점에서는 다를바 없으나 추론의 경우 'inference'의 의미가 강하여 논리학적인 접근방식의 색채가 강조된다고 볼 수 있다.

2.1 상식 추론(Commonsense Reasoning)

상식추론이 처음 등장한 것은 앞에서 언급한 일차논리의 문제성에 대한 반발로서 80년대 초반 몇가지 중요한 논리형태가 제안되면서부터이다 [12-14]. 이에앞서 McCarthy[11] 등이 일차논리의 단순한 확장인 상황논리(Situation Calculus)를 이용하여 일상의 상황을 표현하려 하였으나 프레임 문제(frame problem), 자격문제(qualification problem) 등 몇가지 심각한 문제에 봉착하면서 이를 논문으로 발표하였고 이에대한 연구가 수 많은 유추기법을 탄생시켰다 할 수 있다.

앞서 언급한 대표적 논리 형태를 좀더 자세히 살펴보면 McDermott의 NML-I과 II(nonmonotonic logic)[13,14], Reiter의 디폴트논리(default logic)[16], McCarthy의 우회표현(circumscrip-

tion)[12] 등이다. 이들에 대해서는 이미 본 학회지에서 다룬바 있기 때문에 자세한 설명은 생략하기로 하고 간단히 특징을 살펴보면 NML의 경우 모달논리의 형태를 빌려서 NML-I에서는 고정점의미론(fixed point semantics)을 NML-II에서는 일반 모달 논리의 Kripke식 의미론을 시도하였으나 몇가지 문제점에 봉착하였고 디폴트논리의 경우 메타기호를 추론에 포함시키는 편법을 사용하였으며 우회표현에서는 일차논리에 단순한 이차논리식을 확장하여 우선모델(preferred model)의 개념을 표현하려 하였다.

이와같이 상식추론의 초창기에는 일차논리에서 문제점으로 부각된 인간상식의 한 단면, 즉, 불완전한 지식으로부터의 추론, 믿음변환 등에 초점이 모아졌으나 치츄 상식이라는 말이 포함하는 포괄적인 면이 너무 커지기 시작하면서 상식의 단면뿐 아니라 일차논리에서 다루어지지 않던 많은 형태의 인간 유추과정이 세분화되어 연구되고 있다.

2.2 비단조 추론(Nonmonotonic Reasoning)

비단조 추론은 상식추론 중에서도 특히 논리학적인 접근법의 한 형태를 나타내는 말로서 인간의 지식이 단순하게 성장하는 것이 아니라는 점에 착안한 추론방법이다. 일차논리를 포함한 모든 논리학에서 필수적으로 요구되는 조건중의 하나는 단조성(monotonicity)이라하여 어떤 식이 한번 사실로 입증되면 그것은 절대 사실로 남는다는 것이다. 이러한 조건이 만족되어야만 정리(theorem) 혹은 증명(proof) 등이 의미를 갖게 된다. 이 조건이 만족되지 않는 경우 그 논리체계는 곧 무결성(soundness)을 잃게되고 모순에 봉착하게 된다. 그러므로 기존의 논리학이 인간의 추론과정을 표현하게되면 그 결과로 얻어지는 시스템은 단조성을 벗어날 수 없게되는 것이다. 그런데 놀라움게도 인간의 사고 과정중에 단조성이 성립하는 부분은 극히 일부에 지나지 않는다.

비단조 추론을 가장 잘 설명해주는 예로서 A가 새라는 사실로부터 A가 난다는 사실을 유추하고 후에 A가 펭귄이라는 사실이 추가되면 다시 A가

날지 못한다는 결론을 내리는 경우를 생각할 수 있다. 이와같이 하나의 사실이 다른 사실의 추가로 인해서 바뀌는 경우가 종종 일어난다. 그러므로 이와같은 유추를 취소가능 유추(defeasible reasoning)라고 부르기도 한다.

비단조 추론의 방법은 위의 상식추론 항에서 제시한 논리적 방법들을 들 수 있다. 대부분의 경우 이러한 논리체계 안에는 추론규칙에 일반 MP(modus ponens)규칙 이외에 비단조성을 해결하기 위한 추론규칙을 포함하고 있다.

2.3 디폴트 추론(Default Reasoning)

일반 프로그램에서 디폴트 값을 사용하여 불필요한 세세함을 피할 수 있다. 이를 확장하면 디폴트 규칙이라는 것을 만들 수 있다. 즉, 어떠한 성질이 주어지지 않으면 주어진 결론에 도달한다는 내용이다. 이러한 유추방법을 디폴트 추론이라 한다. 앞에서 비단조 추론의 예로 제시한 펭귄문제도 디폴트 추론의 범주에 속한다. 즉, 새는 모두 나는 것이 아니라 특별한 경우를 제외하고는 모두 날기 때문에 이를 디폴트 규칙으로 만들어 주어야 한다.

앞에서 비단조 추론이 인간의 변화하는 생각을 다룬 것이라면 디폴트 추론은 불완전한 지식에서의 추론을 가능하게 하는 것이다. 일반 연역논리(deductive logic)에서는 모든 필요한 내용이 직접, 혹은 함축적으로 주어져야만 추론이 가능하다. 그러므로 위의 예에서 새가 난다는 결론을 유도하기 위해서는 모든 특수한 사정(펭귄, 타조, 죽은새, 등) 거짓이라는 것을 유도해야 하는데 문제는 예외사항이 너무 많을 수 있고 소위 자격문제로 다시 귀착되는 것이다.

디폴트 추론은 디폴트 논리가 나오기 이전에 이미 필요에 의해서 여러가지 방법으로 구현이 진행되어왔다. 예를들면 규칙기반 시스템에 종종 등장하는 UNLESS 연산자나 연역 데이터베이스에서 편의적으로 사용하는 닫힌세계가설(closed world assumption) 등은 모두 디폴트 추론의 한 형태이다. 또, TMS에서 OUT 리스트가 공리 리스트가 아닌 경우 디폴트 규칙을 표시하게 된다.

디폴트 추론은 디폴트 논리 이외에도 여러가지 형태의 모달 논리를 이용하여 표현이 가능하다.

2.4 인과성 유추(Causal Reasoning)

일반 논리의 또하나의 약점중의 하나는 인과성(causality)에 대한 표현이 어렵다는 것이다. 그 근본적인 이유는 기본 논리 연산으로 사용하는 실체함축(material implication) 기호 \supset 에 있다고 볼 수 있다. 즉 $(A \supset B)$ 는 '만일 A면 B다'라는 의미를 구현하고 있지만 실제로 그 논리값은 $(\neg A \vee B)$ 이기 때문에 A가 거짓이 되는 어떤 모델에서도 참으로 성립한다. 즉, A와 B 사이의 인과성에 대한 제약은 애당초 존재하지 않는 것이다. 그러므로 원인과 결과로 표현되는 여러가지 형태의 유추모델(예를 들면 abductive 유추 등)을 표현하는데는 적합하지 않다. 그런데 진단용 전문가 시스템 등 수 많은 기존 규칙기반 시스템(rule based system)들이 이러한 인과관계의 유추모델에 해당하는 것이다.

인과성 유추도 이미 여러가지 형태의 비논리적 방법으로 구현된 바 있다. 인과망(causal net) 등의 그래프를 이용한 방법, TMS형태의 정보의 종성(dependency)을 이용한 방법, 그리고 인과관계를 정성적 속성을 표시하는 모델을 생성하여 표현하고 이를 기반으로 유추하는 정성적 추론(qualitative reasoning) 등의 형태로 해결하고 있다. 최근에는 이를 순수 논리적으로 해결하려는 노력이 상식추론의 한 분야로서 이루어지고 있다. 즉, 우회표현(circumstriction) 등을 이용하거나 실체함축이 아닌 엄밀함축(strict implication)에 기반한 조건논리(conditional logic)를 사용하기도 한다.

인과성 유추는 특히 행동과 그 결과를 모델링하는데 있어서 중요한 역할을 하기 때문에 실제 세계에서의 자동 계획 생성시스템 등에 필요한 유추시스템에 많이 사용된다.

2.5 증거 유추(Evidential Reasoning)

증거 유추는 인과성 유추의 한 형태로 볼 수 있지만 방법론적인 측면에서는 둘 사이에 큰 차

이가 있다. 즉, 증거의 확실성이 결론을 유도하는데 주요사항이 되므로 확실성 계산이 이 방법의 주요과제가 되는 것이다. 그러므로 확률론, 혹은 Dempster-Shafer의 이론 등이 증거 유추를 구현하는데 많이 사용된다.

불확실 유추(reasoning under uncertainty) 혹은 부정확 유추(inexact reasoning) 등에서도 다루는 내용은 비슷하지만 이들은 애매성을 취급하는데 더 주안점을 두게 된다. 퍼지 논리(fuzzy logic), 다중치 논리(multiple valued logic) 등 논리적 방법이 사용되기도 한다. 최근에는 모달 논리 등의 의미론에 확률론을 적용하는 형태의 통합적 접근법으로서 확률논리(probability logic) [2]라는 것도 시도되고 있다.

2.6 정성적 추론(Qualitative Reasoning)

물리적 현상을 모델링 하는데 있어서 지금까지는 관계된 힘이나 운동 등을 계산할 수 있는 수학 공식이 주로 사용되어 왔다. 그러나 사람들의 유추과정에서는 정량적(quantitative) 성질보다는 정성적(qualitative) 인과관계가 훨씬 많이 사용된다. 이와같은 점에 착안하여 제안된 유추 방법이 정성적 추론[4,10]이다.

정성적 추론에서는 우선 모델링 하고자 하는 기계 혹은 현상을 부분별로 기술하고 부분들 사이의 상호관련성, 인과관계 등을 기술한다. 이 경우 접근방법에 따라 좀 더 해석학적 형태를 취하는 것과 논리적 형태를 취하는 것이 있다. 유추의 형태도 QSIM과 같이 시뮬레이션 형태를 취하는 것과 QDE와 같이 좀더 계산에 가까운 방법을 사용하는 것이 있다.

정성적 추론은 특히 고장 진단 시스템에 많이 활용되고 있다. 이 경우 진단의 형태는 규칙기반 시스템 등에서 볼 수 있는 형태의 추론이 아니고 주어진 기계의 기술 내용과 주어진 현상에 대해서 가장 적합한 모형을 찾아내는 형식을 취하게 된다[17]. 이를 위해서 여러가지 모형들에 대한 데이터베이스를 유지해야 하는데 ATMS 등의 사실유지시스템(Truth maintenance System)이 유용하게 사용될 수 있다. 최근 많은 주의를 끌고 있는 모델 기반 유추(model-based reasoning)도

이에서 파생되었다 할 수 있다.

물리적 현상을 순수 논리 형태로 표현하고자 하는 노력은 여러 각도로 진행되고 있는데 시간적 영역을 다루는 시간 유추(temporal reasoning), 공간적 영역을 다루는 공간 유추(spatial reasoning), 그리고 액체를 유추의 대상으로 잡기위한 노력[7] 등을 들 수 있다. 이들중 시간 유추는 물리적 현상에 대한 유추보다 오히려 사건(event)에 대한 유추의 방법으로서 매우 활발하게 진행되어 왔다[1]. 이들은 시간이라는 온톨로지를 이산적 점들의 집합으로 보느냐 혹은 연속적 구간으로 보느냐에 따라 다른 형태의 접근법으로 분류되고 있다.

2.7 유사 유추(Analogical Reasoning)와 사례 기반 유추(Case-Based Reasoning)

유사 유추[3,5]는 두개의 현상 사이에 유사점을 발견하여 이를 학습에 이용하거나 새로운 사실을 유추해 내는 방법이다. 이 방법이 최근에 특히 주목을 받기 시작한 것은 이것이 사례기반 유추에 있어서 핵심적인 역할을 담당하기 때문이다.

사례기반 유추는 어떠한 상황에 직면했을 때 이를 이미 경험한 사례와 비교하여 같거나 비슷한 경우 그 경험을 적용하고자 하는 것이다. 이는 의사나 법관들이 많이 사용하는 형태의 유추로서 사례집을 이용하여 비슷한 케이스를 적용함으로써 시간과 노력을 대폭 줄일 수 있다는 것이다.

사례기반 시스템들은 대체로 사례들을 모아놓은 데이터베이스, 유사측정부분, 모델 체크, 사례생성기 등으로 구성된다. 그 상황에 적합한 유사한 사례를 찾아내어 현 상황을 대입하고 그것이 맞는가를 체크하고 틀리는 경우 새로운 사례로서 저장하게 되는 것이다. 그러므로 현 상황에 적합한 사례를 어떻게 효과적으로 추출하는가에 대한 문제가 당면과제이다. 이를 위하여 여러가지 인덱싱 기법이 제안되고 있다.

사례기반 유추 방법도 앞에서 잠깐 언급한 모델기반 유추의 특수 형태라고 볼 수도 있다.

3. 모델을 이용한 유추

앞에서 열거한 여러가지 유추방법중 최근들어 많은 주목을 받는 사례기반 유추(case-based reasoning)나 모델기반 유추(model-based reasoning)의 특성을 살펴보면 이들이 기존의 증명이론(proof theoretic) 방식에서 탈피하여 모형이론(model theoretic) 방식을 따른다는 점이다. 증명이론이 구문론적(syntactic) 특성을 갖는다면 모형이론은 의미론적(semantic) 특성을 갖는다.

기존의 증명이론 방식에서는 지식이 논리식의 집합으로 표현되었고 유추는 이 집합으로부터 결론을 증명하는 방법으로 진행되었다. 이 방법의 문제점은 서론에서 언급한 바와같이 논리식의 집합 크기가 늘어남에 따라 증명과정에 걸리는 시간이 엄청나게 걸린다는 것이다. 이에 반하여 모형이론 방식은 지식을 의미론적 모형에 해당하는 자료구조로 만들어 저장해 놓고 주어진 논리식이 어떤 모델에서 성립할 수 있는가를 체크하는 것이다. 이 과정은 증명이론에서와는 달리 데이터 크기에 대하여 다항식(polynomial)의 복잡도를 갖기 때문에 실용화가 용이하다.

문제는 모델들을 어떠한 방식으로 저장하고 타당성 체크를 어떻게 하는가 이다. 이를 위해서는 모델이론 방식에 대한 이론연구가 더욱 활발히 진행되어야 할 것이다. 우회표현에서 사용하는 우선모델(preferred model)의 개념은 하나의 식에 대응하는 모형이 여러개 있을 때 가장 적합한 모델을 선정하는 방법에 사용될 수 있을 것이다. 또, 기계증명방법도 모순유도(refutation) 방식에서 탈피하여 모델을 생성하는 방식[9]을 사용하여 모델체크에 이용할 수 있을 것이다.

4. 결 론

여기에서 우리는 최근에 대두되고있는 여러가지 형태의 유추방법을 동시기적 측면에서 살펴보고 이들의 동향을 조망하여 보았다. 실제로 여기에 언급된 방법 외에도 지식 대상 추론(reasoning about knowledge), 제약기반 추론(constraint-based reasoning) 등과 같이 이미 위치를 어느정도 정립한 방식들이 있는가하면 프로토타입 기반 추론(prototype-based reasoning)[15], 술어기반 추론(terminological reasoning) 등 생소한 이름

의 유추방식들도 제안되고 있다. 물론 이들중 일과성으로 나타났다가 사라지는 것들도 많겠지만 이와같은 활발한 연구가 지금까지 알려지지 않았던 인간 지능의 신비를 하나씩 벗겨갈 수 있기를 기대해 본다.

참고문헌

- [1] Allen, J. Towards a General Theory of Action and Time, Artificial Intelligence, 23, 1983.
- [2] Bacchus, F. Representing and Reasoning with Probabilistic Knowledge, MIT-Press, 1990.
- [3] Dierbach, C. and Chester, D. A Formal Basis for Analogical Reasoning, Principles of Knowledge Representation and Reasoning, Proceedings of the Second International Conference, Morgan Kaufmann, 1991.
- [4] Forbus, K. Qualitative Process Theory, Artificial Intelligence, 24, 1984.
- [5] Gentner, D. Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy, Cognitive Science, 7 (2), 1983.
- [6] Halpern, J. and Vardi, M. Model Checking vs. Theorem Proving: A Manifesto, Principles of Knowledge Representation and Reasoning, Proceedings of the Second International Conference, Morgan Kaufmann, 1991.
- [7] Hayes, P. Naive Physics 1: Ontology for Liquids, in Hobbs, J and Moore, R. ed. Formal Theories of the Commonsense World, Ablex, 1985.
- [8] Khardon, R., Roth, D. Reasoning with Models, Proceedings of AAAI 94, 1994.
- [9] Kim, S. and Zhang, H. ModGen: Theorem Proving by Model Generation, Proceedings of AAAI 94, 1994.
- [10] Kuipers, B. Qualitative Simulation. Artificial Intelligence, 29, 1986.
- [11] McCarthy, J. and Hayes, P. Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence, Machine Intelligence 4, 1969.
- [12] McCarthy, J. Circumscription-A Form of Non-monotonic Reasoning, Artificial Intelligence, 13, 1980.
- [13] McDermott, D. NonMonotonic Logic II: Non-

monotonic Modal Theories, Journal of ACM 29, 1982.

- [14] McDermott, D. and Doyle, J. Non-Monotonic Logic I, Artificial Intelligence, 13, 1980.
- [15] Rajamoney, S., Lee, H. Prototype-Based Reasoning: An Integrated Approach to Solving Large Novel Problems, Proceedings of AAAI 91, 1991.
- [16] Reiter, R. A Logic for Default Reasoning, Artificial Intelligence, 13, 1980.
- [17] Reiter, R. A Theory of Diagnosis from First Principles, Artificial Intelligence, 32, 1987.
- [18] Robinson, J. A Machine Oriented Logic based on the Resolution Principle, JACM 12, 1965.



박 승 수

서울대학교 수학과 학사
한국과학원 전산과 석사
University of Texas 전산학박
사
University of Kansas 전산과
조교수
현재 이화여대 전산과 조교수

● '94 추계 충청지부 논문발표회 ●
논 문 모 집

- 대회일자 : 1994년 11월 25일
- 대회장소 : 충주산업대학교
- 논문마감 : 1994년 11월 11일
- 문의·접수 : 한국과학기술원 전산학과
김명호 교수
Tel : (042) 869-3530
E-mail: mbkim@adam.kaist.ac.kr