

정성적 모델에 기초한 비교분석 기법의 개발

김현경^a

^a한신대학교 정보과학대학 정보통신학과

경기도 오산시 양산동 411

Tel: +82-31-370-6794, Fax: +82-31-370-3343, E-mail:hkim@hs.ac

요약

정성적 추론은 자연 세계에 대한 정성적, 직관적인 지식을 밝혀내어 코드화하는 목표를 갖고 연구되어왔다. 정성적 추론은 전자, 기계 등의 도메인에서 성공적으로 사용되어 그 실효성을 입증할 수 있었으나, 대부분의 추론은 시뮬레이션에 집중되어 왔다. 본 연구에서는 주어진 상황에서 변화가 발생했을 때, 이 변화가 어떻게 영향을 미치며 파급되는지를 예측할 수 있는 정성적 비교분석 기법을 소개하고자 한다. 주어진 상황에 대한 인과모델이 정성적 분야 모델로부터 형성되고, 여기에 비교분석 추론 기법을 적용하여 변화의 연쇄적인 인과 관계를 추적하게 된다. 이러한 기법은 변화의 예측 뿐 아니라, 이런 변화를 이끌어낸 인과 관계를 설명하는 기능을 제공하게 되어, 디자인, 진단, 지능형 교육 시스템, 환경 영향평가 등에 이용되리라 기대된다.

키워드:

인공지능, 정성적 추론

서론

정성적 추론은 상식수준의 정성적 모델에 기초하여 주어진 문제를 해결하는 방식이다. 특히 생태계, 환경등과 같이 분야의 특성상 정확하고 완벽한 정량적 데이터를 얻기 어려운 경우에 적합한 방식이다. 또한 교육, 디자인, 진단 시스템과 같이 정량적 해결 방식이 아닌, 상식 수준의 정성적 해결을 요구하는 경우에 널리 사용 되어 지고 있다 [1,2,3].

주어진 문제를 정성적으로 해결하기 위해서는 정성적 표현에 의한 정성적 분야 모델과 이에 기초한 추론 기법의 개발이 필요하다. 주어진 문제에 대한 정성적 묘사가 주어지면, 추론 기관은 분야 모델로부터 주어진 문제의 인과 모델을 생성하여 문제를 해결하게 된다. 추론 기법에는

시뮬레이션, 진단, 비교 분석, 계획 등이 개발되어 사용되어져 왔다. 상식 수준의 지식을 정성적으로 표현한 정성적 분야 모델은 그 특성상 애매모호한 예측으로 이르는 경우가 많이 있다. 이러한 특성으로 인해 정성적 추론은 기계, 전자와 같이 인위적인 제약이 많은 분야에서 시도되어왔다.

정성적 시뮬레이션은 시간이 흐름에 따라 주어진 시스템의 거동(behavior)이 어떻게 변화하는 가를 분석하는 추론 기법이다. 정성적 시뮬레이션이 주어진 시스템의 구조적 묘사로부터 그 시스템의 거동을 예측하는 반면, 비교 분석은 시스템에 대한 묘사와 파라미터 값의 변화가 주어졌을 때, 그 변화로 인해 거동이 어떻게, 왜 변화하는 가를 추론하는 기법이다. 예를 들어, 어떤 생태계에 대한 묘사가 주어졌을 때, 정성적 시뮬레이션을 통해 그 생태계에서 일어날 일 들을 예측할 수 있다. 이와는 달리, 비교 분석은 생태계의 묘사와 함께 변화가, 예를 들어 생태계에 유입되는 개체 수의 증가, 주어지면 이 변화가 전체 개체수의 증가, 태어나는 개체 수의 증가, 사망하는 개체수의 증가 등으로 이어지는 연쇄적인 변화를 추론하게 된다.

본 논문에서는 비교 분석에 대한 추론 기법에 대하여 논의하고자 한다. 본 연구에서는 제한적으로 정성적 시뮬레이션의 보완적인 역할로 사용되어졌던 기존의 정성적 비교 분석 기법[4,5]을 확장하여 보다 광범위한 비교 분석을 통한 예측을 하고자 하였다.

정성적 모델링

정성적 추론을 위해서는 정성적 모델을 구축하는 것이 필수 불가결하다. 정성적 모델 개발의 목표는 인간이 갖고 있는 직관적, 상식 수준의 정성적 지식을 표현 하는 것이다. 정성적 모델은 정량적 데이터를 얻기 어려운 경우, 인과 관계에 대한 추론이 필요한 경우에 특히 적합하다.

본 연구에서는 정성적 프로세스 (Qualitative Process : QP) 이론[6]에 기초하여 모델을 개발하였다. QP

이론의 핵심은 자연 세계에서 모든 변화는 프로세스에 의해 발생된다는 것이다. 프로세스의 예를 들자면 유체의 흐름, 운동, 가속, 액체의 비등 등이다. 정성적 모델은 객체, 객체 사이의 관계성, 프로세스로 구성된다. 모든 객체는 그 객체의 속성인 파라미터(quantity)에 의해 묘사된다. 프로세스는 파라미터의 변화를 발생시킨다. 예를 들어 비이커에 담긴 두 액체 사이에 액체의 흐름이 발생하면, 이는 한 비이커의 액체의 양은 줄어드는 반면 다른 비이커의 액체의 양은 증가하게 된다. 프로세스에 의한 영향(influence)은 $i+$ 와 $i-$ 로 표현된다. ($i+ ?q1 ?q2$)는 파라미터 $?q2$ 가 $?q1$ 에 플러스로 영향을 주고 있음을 나타낸다. 반면에 ($i- ?q1 ?q2$)는 파라미터 $?q2$ 가 $?q1$ 에 마이너스로 영향을 주고 있음을 나타낸다. 또한 두 파라미터 사이의 정성적 비례(qualitative proportionality) 관계는 $q+$ 와 $q-$ 로 표현된다. ($q+ ?q1 ?q2$)는 $?q1$ 이 $?q2$ 에 정성적으로 비례하고 있음을 표현한다. 대수학적 용어를 사용하면, $?q1 = f(\dots, ?q2, \dots)$ 의 관계가 성립하고 있음을 나타낸다. 함수가 단조로운 감소를 한다면 ($q- ?q1 ?q2$)이 성립한다.

정성적 추론을 통해 주어진 상황에 대한 문제를 해결하기 위해서는 분야 모델(domain model)과 추론 기관이 필요하다. 분야 모델은 미커닉스, 열역학 등 특정 분야에 대한 지식을 정성적으로 표현한 것으로, 특정 상황에 대한 묘사가 주어지면 분야 모델로부터 인과 모델이 형성되게 된다. 인과 모델은 파라미터 사이의 영향, 정성적 비례관계로 구성되어 있다. 형성된 인과 모델로부터 주어진 상황에 대한 추론이 전개되어 문제를 해결하게 된다.

비교 분석

비교 분석은 추론 기법의 하나로 주어진 상황에서 특정 파라미터의 변화가 일어났을 때, 이러한 변화의 연쇄적인 파급을 분석하는 방식이다. 기존의 QP 이론에 기초한 비교 분석(differential qualitative analysis)은 정성적 시뮬레이션의 보완적 역할에 국한되어, 정성적 비례에 의한 변화의 파급 효과에만 제한적으로 사용되었다[5]. 따라서 프로세스에 의해 발생된 영향에 의한 파급 효과와 이에 부수되는 추론에 적용시킬 수 없었다. 본 논문에서는 정성적 비례에 의한 변화의 추론 뿐 아니라, 프로세스에 의한 직접적인 영향에 의한 변화를 분석하는 기법을 소개하고자 한다.

다음은 비교 분석을 위해 사용되는 용어이다.

$$(dQValueOf ?q ?dQValue)$$

$$(dQRateOf ?q, ?change ?dQRate)$$

어떤 상황 $?s1$ 과 $?s2$ 가 있다고 가정하자. ($M ?q ?s$)이 상황 $?s$ 에서의 파라미터 $?q$ 의 값을 표현한다고 할 때, ($M ?q ?s2$)를 ($M ?q ?s1$)와 비교하여 $?q$ 의 dQValue

즉, ($dQValueOf ?q ?dQValue ?s1 ?s2$)를 다음과 같이 정의한다. $?s2$ 가 현재 추론의 관심 대상인 상황인 경우 상황에 대한 정보는 생략한다. 이 때, $?s1$ 은 과거 또는 기준 상황으로 볼 수 있다.

$$(M ?q ?s1) > (M ?q ?s2) \Leftrightarrow$$

$$(dQValueOf ?q \text{ DecreasedDQ})$$

$$(M ?q ?s1) < (M ?q ?s2) \Leftrightarrow$$

$$(dQValueOf ?q \text{ IncreasedDQ})$$

$$(M ?q ?s1) = (M ?q ?s2) \Leftrightarrow$$

$$(dQValueOf ?q \text{ UnchangedDQ})$$

($Dm ?q ?s$), ($Ds ?q ?s$)이 상황 $?s$ 에서의 파라미터 $?q$ 의 변화율(magnitude of derivative)과 변화방향(sign of derivative: Increasing, Decreasing, NoChange)을 각각 표현한다고 할 때, dQRate는 다음과 같이 정의된다.

$$(Ds ?q ?s1) = (Ds ?q ?s2) \wedge (Dm ?q ?s1) > (Dm ?q ?s2) \Leftrightarrow (dQRateOf ?q (Ds ?q ?s1) \text{ DecreasedDQRate})$$

$$(Ds ?q ?s1) = (Ds ?q ?s2) \wedge (Dm ?q ?s1) < (Dm ?q ?s2) \Leftrightarrow (dQRateOf ?q (Ds ?q ?s1) \text{ IncreasedDQRate})$$

$$(Ds ?q ?s1) = (Ds ?q ?s2) \wedge (Dm ?q ?s1) = (Dm ?q ?s2) \Leftrightarrow (dQRateOf ?q (Ds ?q ?s1) \text{ UnchangedDQRate})$$

dQValue는 인과관계를 나타내는 영향, 정성적 비례관계에 적용되어 파급(propagate) 된다 (표 1). 표1에서 $?q \uparrow, ?q \downarrow$ 은 ($dQValueOf ?q \text{ IncreasedDQ}$)와 ($dQValueOf ?q \text{ DecreasedDQ}$)를 각각 나타낸다. $(?q \uparrow) \uparrow, (?q \uparrow) \downarrow$ 는 ($dQRateOf ?q \text{ Increasing IncreasedDQRate}$)와 ($dQRateOf ?q \text{ Increasing DecreasedDQRate}$)를 각각 나타낸다. $(?q \downarrow) \uparrow$ 와 $(?q \downarrow) \downarrow$ 도 같은 방법으로 표현되었다. dQRate도 영향, 정성적 비례관계를 통해 파급된다.

표 1 - dQValue의 파급

	?constrainer ↑	?constrainer ↓
($q+ ?q ?constrainer$)	$?q \uparrow$	$?q \downarrow$
($q- ?q ?constrainer$)	$?q \downarrow$	$?q \uparrow$
($i+ ?q ?constrainer$)	$(?q \uparrow) \uparrow$	$(?q \uparrow) \downarrow$
($i- ?q ?constrainer$)	$(?q \downarrow) \uparrow$	$(?q \downarrow) \downarrow$

소각로 예제

비교 분석은 CLIPS[7]로 구현되어 여러 예제에 적용되어 그 실효성을 입증할 수 있었다. 기술자의 평가를 위해 미국에서 널리 사용되고 있는 Bennett 테스트(Bennett Mechanical Comprehension Test)의 문제에 적용되어 비교 분석을 요구하는 문제들을

해결할 수 있었다. 또한 생태계 모델[3]에 적용하여 생태계의 파라미터에 변화가 생겼을 때, 이러한 영향이 어떻게 연쇄적으로 파급되는 가를 추론 할 수 있었다.

본 절에서는 소각로에서 일어나는 소각 과정에 비교 분석을 적용한 추론 과정을 간략히 소개하고자 한다. 소각로에 주어지는 폐기물은 크게 분류하여 종이나 플라스틱과 같은 가연성분과 음식물과 같이 수분을 많이 포함한 성분으로 분류할 수 있다. 가연 성분이 많이 포함된 경우와 수분이 많이 포함된 경우의 소각은 연관된 파라미터의 변화 양상에 차이를 보이게 된다. 소각로 추론을 위한 소각 프로세스, 가스의 흐름 (gas flow) 프로세스와 가스의 성질과 관련된 정성적 비례들로 구성되어 있다. 종이와 많이 포함된 폐기물이 소각로에 들어왔다는 시나리오 모델이 주어졌을 때, 그림 1은 형성된 인과모델의 일부와 이에 기초한 dQValue(DQ)와 dQRate(RATE)의 파급을 보여주고 있다. 시나리오 모델에는 종이류가 보통 때 보다 많이 포함되어 있다는 사실이 (dQValueOf (proportionOf paper solidwaste) IncreasedDQ)로 표현되어 있다. 폐기물 중 종이의 비율이 커졌을 때, 이는 소각 속도의 증가, 배가스 발생의 증가 속도의 증가 등으로 이어짐을 보여주고 있다. 그림 1에는 생략되어 있으나, 이러한 변화는 가스 흐름 프로세스의 속도를 증가시켜 배가스가 빨리 흘러나가게 하는 연쇄적인 반응으로 이어진다. 폐기물 중 음식물의 양이 많아지면, 소각 속도는 감소하게 되어 그림 1의 경우와는 반대 현상이 일어나게 된다.

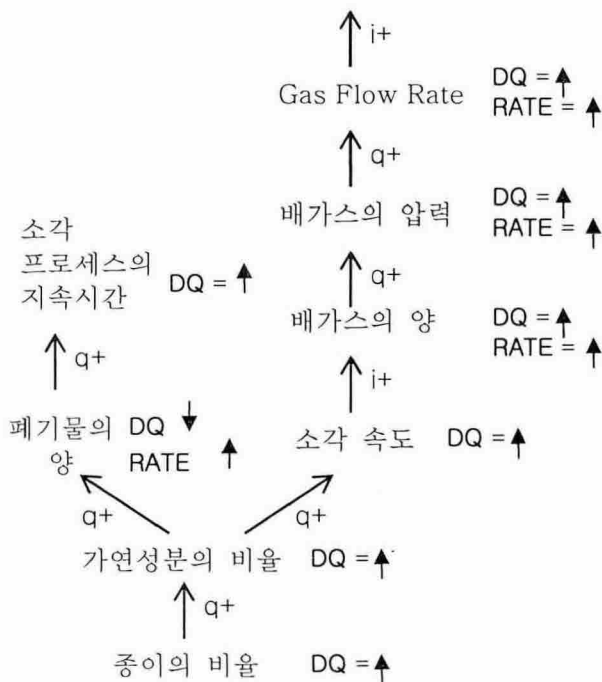


그림 1 - 소각의 인과모델과 비교 분석

결론

정성적 추론에서 다양한 기법의 추론 기법을 개발하는 것은 광범위한 문제의 해결을 위해 중요하다. 정성적 시뮬레이션은 가장 많이 사용되어 지고 있는 정성적 추론 방식이다. 정성적 추론은 정확하고 완벽한 정량적 지식이 아닌 정성적 지식에 기초하고 있으므로, 정성적 시뮬레이션은 정확한 예측보다는 모든 가능성을 제시해 주는 경우가 많다. 비교 분석은 시뮬레이션이 제공할 수 없는 추론을 제공할 뿐 아니라, 파급 효과를 파라미터 사이의 인과 관계를 따라 추적하게 되므로 애매모호한 경우가 훨씬 적어 정확한 예측을 제공할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 기존의 비교 분석 기법에 프로세스의 영향에 대한 분석 방법을 추가하여 확장하였다. 미캐닉스, 생태계 모델, 소각로 모델 등에 적용되어, 그 실효성을 입증할 수 있었다.

향후 과제로는 다양한 추론 방식과 비교 분석 기법을 결합하여, 유연성과 광범위성을 갖춘 인지 시스템으로 확장, 개발하는 것이다.

감사의 글

소각로 모델 개발에 도움을 주신 한림대학교 환경생명공학과 김승도 교수님께 감사를 표합니다. 이 논문은 2005학년도 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] Bobrow, D.G. (1985). *Qualitative Reasoning about Physical Systems*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- [2] Forbus, K. (1996). "Qualitative Reasoning," *CRC Handbook of Computer Science and Engineering*, CRC Press
- [3] Salles, P. and Bredeweg, B. (2003) "Qualitative Reasoning about Population and Community Ecology," *on Artificial Intelligence Magazine*, Vol 24
- [4] Weld, D. (1988). "Theories of Comparative Analysis," Ph.D. diss., Dept. of Computer Science, Massachusetts Institute of Technology.
- [5] Klenk, M., Forbus, K., Kim, H., and Kychelhahn, B. (2005). "Solving Everyday Physical Reasoning Problems by Analogy using Sketches," *Proceedings of the 20th Conference on Artificial Intelligence*.
- [6] Forbus, K. (1984). "Qualitative Process Theory," *on Artificial Intelligence*
- [7] Girratano, J. and Riley, G. (1998). *Expert Systems: Principles and Programming*. Boston, MA: PWS Publishing Company