

정성적 추론을 이용한 소각로 변화 예측의

에이전트 기반 프레임웍

김현경[○], 김민구

한신대학교[○], 아주대학교

hkim@hs.ac.kr[○], minkoo@ajou.ac.kr

An Agent-based Framework for Change Prediction in Incineration Plant using Qualitative Reasoning

Hyeon Kyeong Kim[○], Minkoo Kim
Hanshin University[○], Ajou University

요 약

유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 여러 컴퓨팅 객체가 협업을 통해 주어진 문제를 해결하게 된다. 유연성과 자율성을 갖는 유비쿼터스 환경 기반의 시스템을 구축하기 위해서는 전문적인 지식 뿐 아니라 인간이 갖는 상식 수준의 정성적 지식에 기초한 문제 해결 방식이 필수 불가결하다. 또한 정성적 지식에 기초한 문제 해결 방식은 주요한 컴퓨팅 객체인 인간의 적극적인 참여를 유도하는데 유용하다.

본 논문에서는 정성적 추론을 소각로 모델링에 적용하여 소각로에서 발생할 수 있는 이상 징후에 대한 정성적 정보를 사용자에게 제공하는 시스템에 대하여 소개하고자 한다. 본 시스템은 멀티 에이전트 기반 플랫폼으로 설계하여 유비쿼터스 환경에서 협업을 통한 원격의 서비스를 제공할 수 토대를 구축하였다. 본 시스템은 프로토타입이 구현되어 여러 소각로 예제에 적용되어 그 실효성을 입증할 수 있었다.

1. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 여러 컴퓨팅 객체가 협업을 통해 주어진 문제를 해결하게 된다. 유연성과 자율성을 갖는 유비쿼터스 환경 기반의 시스템을 구축하기 위해서는 전문적인 지식 뿐 아니라 인간이 갖는 상식 수준의 정성적 지식에 기초한 문제 해결 방식이 필수 불가결하다. 또한 정성적 지식에 기초한 문제 해결 방식은 주요한 컴퓨팅 객체인 인간의 적극적인 참여에도 도움을 줄 수 있다.

소각로에서 일어나는 소각 과정은 폐기물의 소각 과정으로 부터 발생하는 다이옥신을 포함한 배가스의 발생, 유해한 배가스의 처리를 위한 과정 등 여러 가지의 열역학적 과정의 복합적인 산물이다. 소각과정 모델링에 대한 전통적인 접근 방식은 정확한 데이터와 수식에 기초하여 해결하는 방식이다. 소각 과정은 과정의 복잡성으로 인하여 단순히 수식들만으로는 표현하기에 어려움이 있다. 또한 정확한 수식들로 구성된 모델이 있다 하더라도 정확한 입력 데이터를 제공하는 것이 쉽지 않다. 소각로에 들어가는 폐기물의 성분에 따라 소각 과정이 영향을 받게 되는데, 이 때 정확히 음식물, 종이류, 플라스틱 등의 성분을 분석하기에는 어려움이 있다.

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

본 논문에서는 정성적 추론을 소각로 모델링에 적용하여 소각로에서 발생할 수 있는 이상 징후에 대한 정보를 사용자에게 제공하는 시스템의 프레임웍에 대하여 소개하고자 한다. 시스템은 멀티 에이전트 기반 플랫폼으로 설계하여 유비쿼터스 환경에서 협업을 통한 원격의 서비스를 제공할 수 토대를 구축하였다 [4]. 문제 해결 방식은 정성적, 상식 수준의 지식에 기초하여 진행되어 전문적인 지식이 없는 사용자의 참여를 용이하게 하는데 도움을 줄 수 있다.

추론 방식으로는 가장 많이 사용되어지고 있는 시뮬레이션이 아닌, 비교 분석[5]을 사용하였다. 시뮬레이션이 소각로에서 일어나는 일련의 작동 과정을 예측하는 반면, 비교 분석은 변화가 일어났을 때, 그 변화의 연쇄적인 파급 효과를 분석하는 기법이다.

2. 소각로의 정성적 추론

주어진 문제를 정성적 추론을 통해 해결하기 위하여서는 정성적 도메인 모델의 구축이 선행되어야 한다. 정성적 도메인 모델은 인간이 그 도메인에 대하여 갖고 있는 직관적, 상식 수준의 정성적인 지식을 밝혀내어 코드화한 것이다.

소각로에서 일어나는 소각 과정은 다양한 열역학 프로세스들의 복합적인 상호작용의 산물이다. 본 연구에서는 Forbus의 QP 이론 (Qualitative Process Theory) [6]에 기초한 정성적 소각로 모델 [7]을 사용한다. QP 이론의 핵심은 자연 세계의 모든 변화는 프로세스에 의해 일어난다는 것이다. 도메인 모델은 객체(objects), 관계(relationship), 프로세스로 구성된다. 객체는 그 객체가 갖고 있는 파라미터로 표현된다. 파라미터의 값은 그 값의 부호로 표현된다. 또한 다른 값과의 대소 관계로도 표현된다: <, =, >. 변화를 표현하는 도함수도 같은 방식으로 표현된다. "+"는 증가, "-"는 감소, "0"은 변화 없음을 나타낸다.

정성적 비례 관계 (qualitative proportionality)는 두 개의 파라미터 사이의 인과관계를 표현한다. (qprop A B)는 A가 B에 비례함을 의미한다. (qprop- A B) A가 B에 반비례함을 의미한다. 예를 들어서, 어떤 물체의 온도는 그 물체가 갖고 있는 열에 비례한다는 사실은 (qprop temperature ?obj) (heat ?obj)로 표현된다.

직접적 영향 (direct influence: i+, i-)은 도함수에 대한 부분적인 정보를 나타낸다. 직접적 영향은 프로세스에 의해서만 발생하게 되는데 프로세스에 의한 파라미터의 변화를 나타낸다. 예를 들어, 유체 흐름 (fluid flow) 프로세스에서, 유체가 흘러 들어가는 쪽의 유체의 양은 그 유체 흐름 속도의 직접적 영향을 받게 된다는 사실은 (i+ (amountOf ?dst) (flowRate ?inflow))로 표현된다.

소각로 도메인 모델은 1차 소각로, 2차 소각로, 배가스 처리실로 구성된 소각 과정을 정성적으로 예측할 수 있게 구성되어 있다. 현재는 기본적인 네 개의 프로세스의

복합적인 상호 작용으로 소각 과정을 예측한다: heat flow, gas flow, incineration, dioxin decomposition.

시나리오는 특정 상황에 대한 구조적 묘사를 의미하는데, 시나리오가 주어지면 추론 엔진은 도메인 모델로부터 그 시나리오에 대한 시나리오 모델을 생성한다. 시나리오 모델은 파라미터 사이의 인과 관계를 표현하는 인과 모델로서, 직접적 영향, 정성적 비례관계로 구성된다. 인과 모델이 형성되면 추론이 적용되어 문제를 해결하게 된다. 본 연구에서는 상대적 변화에 따른 파급 효과를 예측하는 비교 분석 기법을 적용한다.

그림 1은 전형적인 소각로에 대한 시나리오가 주어졌을 때 생성되는 시나리오 모델의 일부를 보여주고 있다. 그림에서 q+, q-는 qprop과 qprop-을 나타낸다. 시나리오 모델은 관련된 파라미터와 그들 사이의 인과관계가 i+, i-, q+, q-로 연결되어 있다. 파라미터에서 1은 1차 소각로, 2는 2차 소각로를 표시한다. 예를 들어 heat(1)은 1차 소각로의 열을, gasFlowRate(1->2)는 1차 소각로에서 2차 소각로로 가는 가스 흐름 프로세스의 rate를 표현한다. 그림에는 형성된 인과 모델에 추론이 전개되는 과정이 각 파라미터 옆 화살표로 표현되고 있다. 위로 향하는 하나의 화살표는 그 파라미터가 증가함을, 아래로 향하는 하나의 화살표는 감소함을 의미한다. 두 개의 위로 향하는 화살표는 그 파라미터의 증가 속도가 증가함을, 왼쪽의 아래로 향하는 화살표와 오른쪽의 위로 향하는 화살표는 그 파라미터가 감소하는 속도가 증가함을 표현한다.

그림 1은 폐기물(solid waste:sw)중 플라스틱 비율이 증가하여 공급되는 경우의 시나리오를 추론한 경우이다. 그림 1에 나타난 추론 과정을 일부 설명하면 다음과 같다: 플라스틱 비율이 증가하면 sw의 가연성분 (inflammables in sw)이 증가한다. 가연 성분의 증가는 소각 속도(incinerationRate)의 증가로 이어지고, 이는 배가스(exhaustGas)의 양이 증가하는 속도를 증가시키게 된다.

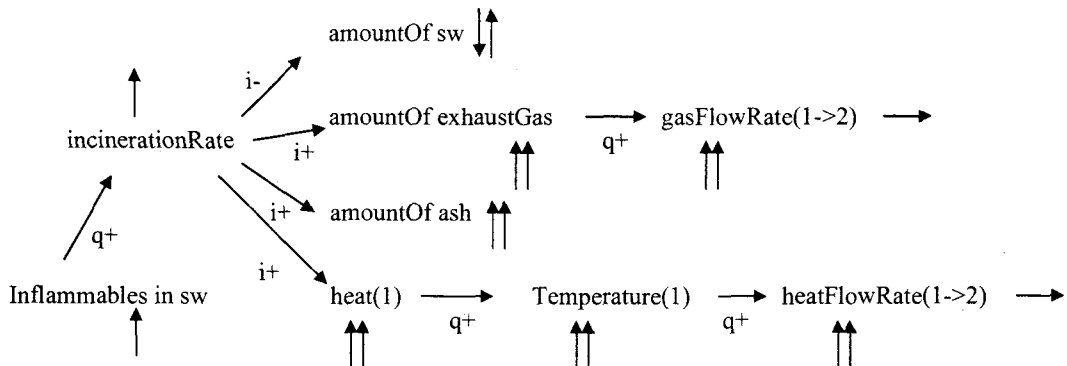


그림 1 소각로의 시나리오 모델과 비교 분석

3. 시스템의 설계 및 구현

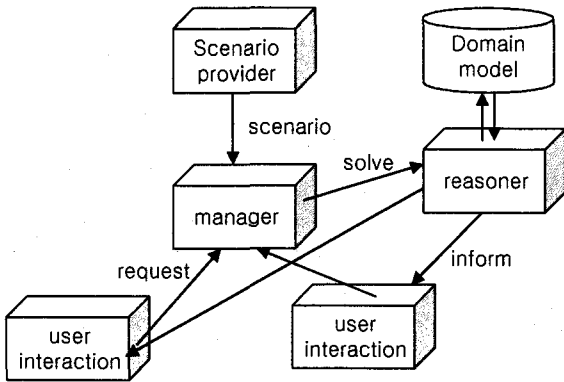


그림 2 시스템 구성도

본 장에서는 정성적 비교 분석을 통하여 소각로에 평소와는 다른 변화를 예측하고, 그 감지된 변화를 사용자에게 정성적 표현방식으로 알려주는 프레임워크의 구조 및 구현에 대해 설명하고자 한다. 시스템은 멀티 에이전트 기반 플랫폼으로 설계하여 유비쿼터스 환경에서 협업을 통한 원격의 서비스를 제공할 수 토대를 구축하였다.

그림 2는 시스템의 구성을 간략히 보여주고 있다. 시스템은 기본적으로 manager agent, reasoner agent, user interaction agent, scenario provider agent로 구성된다. 이외에도 directory facilitator와 같이 agent 관리에 필요한 agent들이 시스템을 구성한다.

Scenario provider는 특정 소각로에서 소각이 일어날 때, 소각로에 대한 구조적 묘사를 manager에게 제공한다. 이 때 특정 파라미터의 값이 증가 하였거나 감소한 경우 이와 같은 정보도 함께 제공한다. 예를 들어 폐기물에 포함되어 있는 음식물 양이 평소보다 증가하였다면 이를 시나리오 구조적 묘사와 함께 포함시킨다.

User interaction agent는 소각로에서 발생하는 과정에 대한 정보를 얻고 싶은 사용자를 위한 interaction agent이다. 사용자는 자신의 id를 manager agent를 통해 등록하게 된다. 등록된 사용자는 소각로에서 중요한 이상 징후 가능성이 reasoner agent에서 감지되면, 이에 대한 정보를 제공받게 된다.

reasoner는 manager agent를 통해 시나리오와 등록된 사용자에게 대한 정보를 제공받는다. reasoner는 지식베이스에 구축되어 있는 domain model로부터 주어진 시나리오에 대한 시나리오 모델을 생성한다. 생성된 시나리오 모델에 비교분석을 적용하여 변화에 따른 연쇄적인 파급효과를 시나리오 모델의 인과 관계를 분석하여 예측한다. 다이옥신의 발생량이 정상시보다 증가하고 있다

는 것과 같은 중요한 상황이 감지되면 이를 등록된 사용자에게 알려준다.

제안된 시스템의 프로토타입이 멀티에이전트 플랫폼을 제공하는 JADE 3.4[8]로 구현되었으며, reasoner의 추론 기관과 도메인 모델은 JESS 7.0[9]로 구현되었다. JADE는 멀티 에이전트 응용을 위해 TILAB에서 개발된 미들웨어이다. JADE는 Java로 구현되었으며, 에이전트 간의 메시지 전달은 FIFA 규정을 따르고 있다. JADE는 PDA와 같은 이동 단말기, 네트워크 상에 분산되어 있는 컴퓨터들에서 작동하고 있는 에이전트간의 통신 프레임워크를 제공하여 유비쿼터스 환경에서 에이전트들의 협업을 구축하는 토대를 제공한다. JESS는 규칙 기반의 추론기관으로, 전향 추론과 후향 추론을 제공한다. JESS는 Java로 구현되어 있어 JADE와의 통합이 용이한 장점이 있다.

시스템의 모든 과정은 정성적 표현에 기초하여 진행된다. 본 시스템은 다양한 시나리오 적용하여 실효성을 입증할 수 있었다. 예를 들어서, 그림 1의 시나리오 모델을 형성하게 한 시나리오 중 일부인 1차 소각로에 대한 기술은 다음과 같다. qty는 QP 이론의 용어 quantity를 나타내며, 이는 연속적인 값을 갖는 파라미터를 의미한다. 이 시나리오에는 주어진 폐기물 중 플라스틱의 양이 증가되었음을 포함하고 있다.

```

;;; 1st incinerator
(incinerator incinerator1)
(solidWaste sw1)
(containedIn sw1 incinerator1)
(qGreaterThan (qty1 amountOf sw1) (qty2 ZERO))
(thermalPhysob burner1)
(heatPath path1)
(heatConnection path1 burner1 incinerator1)
(heatAligned path1)
(sparkIn incinerator1)
    
```

```

;;; the proportion of plastics in sw is increased
(dQValueOf (qty proportionOf plastics sw1)
(dQValue IncreasedDQ) (source init))
    
```

reasoner는 manager를 통해 위의 시나리오를 제공 받아 폐기물 중 플라스틱의 비율이 증가로 인한 연쇄적인 파급효과를 예측하게 된다. 분석을 통해 다이옥신을 포함한 배가스의 증가가 예측되고, 이 가능성은 등록된 사용자에게 전달되게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 정성적 추론 기법과 멀티 에이전트 기반 플랫폼을 소각로 모델에 적용한 프레임워크를 소개하였다. 소각로에 어떤 변화가 발생하였을 때, 그 변화의 연쇄적인 파급 효과를 정성적 인과 관계에 기초하

여 분석하여 분산되어 있는 사용자에게 유용한 정보를 제공할 수 있었다.

현재의 프레임워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 적용할 수 있는 U-환경 시스템 구축의 첫 번째 스텝이라 할 수 있다. 각 에이전트에 다양한 지능형의 기능 추가를 통해 유연성과 광범위성을 갖춘 지능형, 자가 성장의 시스템으로의 확장, 개발이 향후 과제로 남아있다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크 원천기반기술개발사업의 지원에 의한 것임.

참고문헌

- [1] Bobrow, D.G., *Qualitative Reasoning about Physical Systems*. Cambridge, MA: The MIT Press, 1985
- [2] Forbus, K. "Qualitative Reasoning," *CRC Handbook of Computer Science and Engineering*, CRC Press, 1996
- [3] Salles, P. and Bredeweg, B., "Qualitative Reasoning about Population and Community Ecology," *on Artificial Intelligence Magazine*, Vol 24, 2003
- [4] Wooldridge, M., Jennings, N., and Kinny D., "The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design," *Autonomous Agent and Multi-Agent Systems*, 2000
- [5] 김현경, "정성적 모델에 기초한 비교분석 기법의 개발," 한국지능정보시스템학회 추계학술대회, 2005
- [6] Forbus, K., "Qualitative Process Theory," *on Artificial Intelligence*, 1984
- [7] Kim, H., Kim, S., and Kim, M., "Conceptual Modeling for Incineration Process," *Proceeding of the 4th International Conference on Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control*, 2006
- [8] JADE, <http://jade.tilab.com>, Telecom Italia Lab, 2005
- [9] Jess, <http://jessrules.com>, Sandia National Laboratory, 2006