

기계학습과 지능형 에이전트(인공비서)

연세대학교 | 홍진혁* · 조성배**

1. 서론

지능형 에이전트는 복잡하고 변하는 환경에서 어느 정도 자율적으로 목적 달성을 시도하는 시스템으로, 자율적응 에이전트, 소프트웨어 에이전트, 인터페이스 에이전트 등의 이름으로 전산학, 특히 인공지능 분야에서 활발히 연구되어 왔다. 지능형 에이전트의 기본적인 특징은 자율성, 사회성, 반응성, 능동성 등을 들 수 있다[1].

자율성은 에이전트가 사용자나 다른 시스템의 직접적인 지시없이 스스로 판단하여 작업을 수행하는 능력으로 에이전트가 갖는 가장 중요한 특징이다. 사회성은 에이전트가 사람이나 다른 에이전트와 상호작용을 통해 협력하여 작업을 수행하는 능력을 말한다. 사용자와의 의사소통을 통해 의도를 파악하고, 하나의 에이전트가 해결하지 못하는 복합적인 일을 처리하도록 다양한 에이전트와 상호 협력하도록 돕는다. 반응성은 환경이나 사용자의 변화를 감지하고 적절한 작업이나 응답을 수행하는 능력이고, 능동성은 환경의 변화에 대한 단순한 반응을 넘어서 주어진 문제를 해결하기 위해 주도권을 가지고 목표 지향적으로 행동하는 능력을 가리킨다[1,2].

최근 네트워크의 급속한 발달과 고성능 개인용 컴퓨터의 보급 등으로, 한 대의 컴퓨터에서만 작업을 수행하는 것이 아니라 필요에 따라 네트워크상의 여러 시스템을 옮겨 다니며 동작하는 이동성이나 사용자나 환경에 적응하여 동작 성능이 점증적으로 향상되는 적응성 등도 지능형 에이전트 연구의 중요한 부분을 차지하고 있다.

수동으로 지능형 에이전트를 설계하는 방식은 설계자가 응용 도메인에 대한 충분한 지식을 가져야 하고 시스템의 성능이 초기에 고정된다는 어려움이 있다. 이를 극복하기 위해 경험을 통해서 자동적으로 컴퓨터 알고리즘을 발전시키는 것에 관한 연구인 기계학

습을 사용하여 지능형 에이전트를 설계하는 방식이 시도되고 있다[3,4].

기계학습은 대규모의 데이터 집합으로부터 규칙이나 패턴을 추출하여 각종 프로그램을 생성하는 기술로서, 신경망, 결정트리, 유전자 알고리즘, SVM, 베이지안 네트워크 등을 이용한다. 기계학습을 이용한 지능형 에이전트 설계 방식은 환경에서 수집된 정보를 바탕으로 에이전트를 구성하기 때문에 다양한 영역에 적용이 가능하며, 환경이나 사용자의 성향이 바뀌더라도 에이전트를 적응적으로 변화시켜 작업의 질을 유지시킨다[4,5].

본고에서는 지능형 에이전트에 적용된 기계학습의 동향을 살펴보고, 2가지 응용 예를 소개한다. 제2절에서는 먼저 기계학습을 이용한 각종 지능형 에이전트와 최근 CMU에서 진행 중인 RADAR 프로젝트를 간략히 소개한다. 제3절에서는 대표적인 지능형 에이전트의 연구로 인공비서에 대해 간략히 소개하고, 기계학습 기법인 유전자 프로그래밍을 이용하여 사용자와의 대화 방식을 학습하고 사용자의 취향을 베이지안 네트워크로 분석하여 적절한 서비스를 제공하는 기술에 대해서 살펴본다. 제4절에서는 위의 논의를 기반으로 지능형 에이전트에서 기계학습의 필요성과 나아가 방향에 대해서 제언함으로써 결론을 맺는다.

2. 지능형 에이전트에서의 기계학습 동향

표 1은 기계학습 기법을 지능형 에이전트에 적용한 몇몇 연구를 보여준다. Mitchell 등은 결정트리로 사용자의 성향을 모델링하여 미팅 일정을 관리하는 에이전트에 적용하였고[4], Lee와 Pan은 유전자 알고리즘을 이용하여 미팅 일정을 설계하는 퍼지 모델을 최적화하여 사용자의 성향을 학습하였다[5]. Schiaffino와 Amandi는 강화학습을 이용하여 사용자의 성향이나 습관을 학습하고 상황에 적절히 알릴 서비스를 제공하였다[6]. Hagrais 등은 강화학습을 이용하여 집에서의 사용자 행동패턴을 분석하고 적절한 서비스를 제공하

* 학생회원

** 종신회원

표 1 기계학습을 적용한 지능형 에이전트

연구자	목적	사용 기술
Mitchell 등[3]	미팅 일정 설계	결정트리
Lee & Pan[5]	미팅 일정 설계	유전자 알고리즘
Schiaffino & Amadi[6]	개인화 알림 서비스	연관 규칙
Hagras 등[7]	환경 제어	강화학습
Kautz 등[8]	전문가 검색	협업 필터링
Hsinchun 등[9]	개인화 정보 검색	유전자 알고리즘
Horvitz 등[10]	사용자 의도 추론	베이지안 네트워크
Hamdi[11]	개인화 정보 검색	신경망

는 에이전트를 개발하였다[7].

정보 검색을 수행하는 지능형 에이전트에서는 사용자의 의도를 보다 정확하게 이해하기 위해 기계학습을 도입하였는데, Kautz 등은 협업 필터링을 이용하여 사용자가 풀고자 하는 문제의 전문가를 자동 검색하였고[8], Hsinchun 등은 유전자 알고리즘으로 사용자의 검색 성향을 분석하여 개인화된 정보를 검색하는 에이전트를 제안하였다[9]. Horvitz 등은 베이지안 네트워크를 이용하여 자연어를 통해 사용자의 의도를 추론하고 해당 정보를 제공하는 대화형 에이전트를 MS Office에 적용하였고[10], Hamdi는 다중 에이전트 기반의 정보 개인화 시스템에서 신경망으로 전문가 지식을 모델링하였다[11].

CMU에서는 그림 1과 같은 모델을 바탕으로 실제 환경에서 동작하는 지능형 에이전트를 개발하는 RADAR (Reflective Agent with Distributed Adaptive Reasoning) 프로젝트를 수행하고 있다. 사용자와 자연어로 의사소통을 하고 멀티모달 인터페이스를 통해 주변 상황이나 사용자 상태를 파악한다. 구체적인 업무나 배경 지식을 효과적으로 표현하는 지식구조를 가지고, 계획 모듈을 통해 사용자에게 제공한 서비스를 설계한다. 에이전트가 사용자의 성향을 고려하도록 작동하도록 각종 행동 패턴을 분석하고 모델을 지속적으로 업데이트 한다[12].

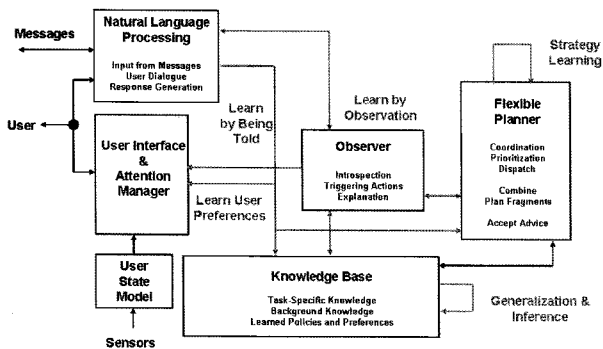


그림 1 RADAR 프로젝트 개발 모델

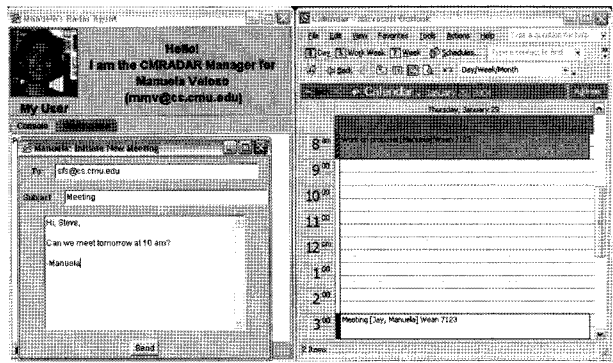


그림 2 CMRADAR 동작 모습

RADAR는 미팅 일정의 설계나 자원의 효과적 분배, 웹 사이트 설계 및 유지, 이-메일 기반의 사용자 보조 도구 개발 등에 적용되고 있으며, 그림 2와 같이 이-메일을 바탕으로 사용자의 성향에 따라 다수의 일정을 자동으로 관리하는 CMRADAR(Calendar Management RADAR)가 개발되기도 하였다.

기계학습은 지능형 에이전트의 성능을 지속적으로 향상시키거나 환경이나 사용자에 시스템을 적응시키기 위한 핵심적인 기술이며, 최근 지능형 에이전트의 많은 연구가 이를 다루고 있다.

3. 기계학습을 이용한 인공지능 개발

인간의 업무를 보조하여 생산성을 향상시키는 지능형 에이전트에 대한 관심이 증대되면서, 인공지능 모듈을 복합적으로 결합한 인공지능에 대한 연구가 진행되고 있다. 여기에서는 **각종 기계학습 기법을 바탕으로 추론, 학습, 판단, 계획 및 모델링을 구현하고, 이를 이용하여 인공지능 개발에 필요한 대화모듈, 상황인식모듈, 지식관리모듈, 행동기능모듈을 구축한 사례를 보고한다.** 그림 3과 같은 인공지능 모델을 바탕으로, 대화를 통해 사용자의 의도를 파악하고 비정형적 추론기술로 상황을 인식하고 적절한 행동이나 서비스를 제공한다. 또한 환경 적응적이고 점증적인 지식획득을 통해 업무수행 능력을 향상시킨다[13].

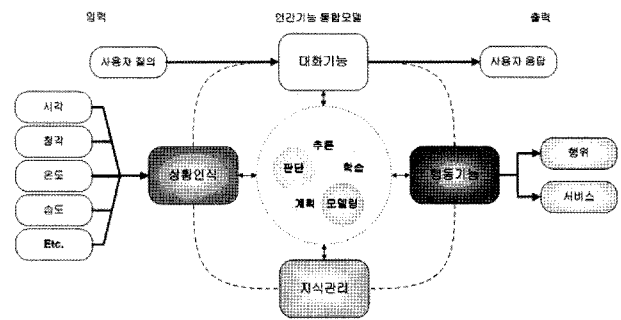


그림 3 인공지능 개발모델

적절한 서비스를 제공하기 위해서는 사용자 의도를 파악하고 상황을 인식하여야 한다. 복합적인 정보를 처리하기 위해서 불확실한 실세계 문제를 확률적으로 다룰 뿐만 아니라 계층적 모델링 기반의 상호주도적 기능을 통해 사용자의 의도를 능동적으로 추론하는 비정형적 베이지안 네트워크를 이용한다. 또한 지속적으로 성능을 개선하기 위해 화형 템플릿을 이용해 지식을 수집하고 유전자 프로그래밍을 이용하여 답변 문장의 문형을 학습한다.

3.1 대화 기능 향상을 위한 기계학습 기법

대화로 사용자와 의사소통하는 지능형 에이전트의 문장 생성 능력을 지속적으로 향상시켜 사용자에게 다양한 유형의 답변을 제공할 수 있다. 초기의 에이전트는 “당신은 서울을 떠납니다. 그리고 당신은 부산으로 갑니다. 언제 떠나나요?”와 같이 어색한 표현을 사용하지만, 기계학습 기법으로 언어 능력을 향상시켜 “당신은 언제 서울에서 부산으로 가나요?”와 같은 세련된 문장을 사용하게 된다.

에이전트가 사용하는 문장은 그림 4와 같이 Lavoie와 Rambow가 고안한 문장계획트리(Sentence Plan Tree: SPT)로 표현한다. 문장계획트리의 말단노드는 단문을 나타내고, 중간노드는 자식노드의 문장을 연결하는 결합연산자로 구성된다[14].

문장 생성 능력을 개선하기 위해 John R. Koza가 제안한 유전자 프로그래밍을 사용한다. 그림 5와 같이 문장계획트리로 유전자 프로그래밍의 각 개체를 표현하고 사용자가 원하는 문형을 획득할 때까지 교차, 돌연변이, 선택 단계를 반복한다. 교차 연산은 두 개체에서 임의로 서브 트리를 선택하여 두 서브 트리를 바꾸며, 돌연변이 연산은 임의로 선택된 노드의 값을 다른 값으로 변경한다. 이들 연산은 미리 정의된 확률에 의해 일어나며, 개체의 적합도 평가는 사용자에

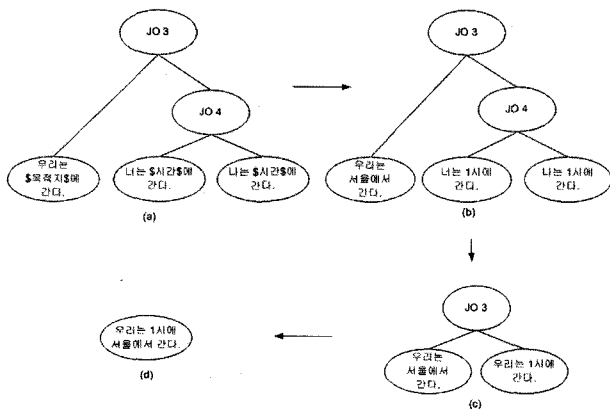


그림 4 문장계획트리 해석과정

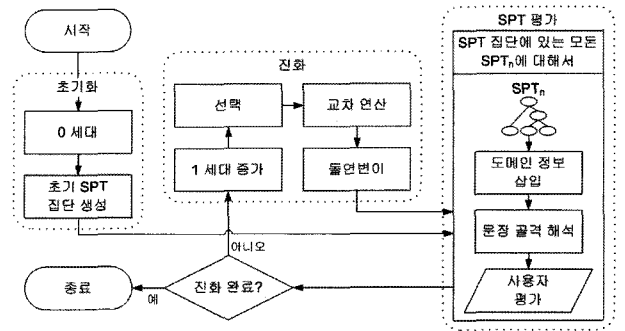


그림 5 대화형 유전자 프로그래밍을 이용한 지능형 에이전트의 문장학습

의해 이루어진다. 만일 아이들이 시스템을 평가하면 아이들이 사용되는 표현을 이용한 문장이 생성되고, 어른들이 시스템을 평가하면 어른들이 사용하는 표현을 이용한 문장이 생성된다. 적합도 평가는 실시간으로 수행되기 때문에 시스템은 문장 생성의 언어적 감각을 지속적으로 발전시킨다[14].

진화기반 기계학습을 이용한 지능형 에이전트의 문장 생성 방법이 얼마나 사용자에게 만족감을 주는지 알아보기 위해 10명의 피험자들이 90세대에 걸쳐 6가지 문장계획트리 그룹을 평가하였다. 피험자는 각 세대마다 생성되는 모든 문장을 평가해야 하므로 개체 수는 20개로 다소 적게 설정하였고, 교차연산 비율은 0.6, 돌연변이연산 비율은 0.2로 설정하였다.

그림 6은 진화가 진행됨에 따른 각 SPT 그룹별 평균 사용자 평가점수를 보여준다. 사용자는 각 세대에서 생성된 문장들을 0~10점으로 평가했다. 처음 10세대 동안에는 점수가 증가하다가 이후 10세대는 감소하는 경향을 보였다. 이것은 처음에 생성된 어색한 문장이 진화를 통해서 초기에는 빠르게 진화하여 좋은 점수를 얻었으나 이후에는 진화 속도가 사용자의 기대치보다 늦어 상대적으로 낮은 점수를 받았기 때문이다.

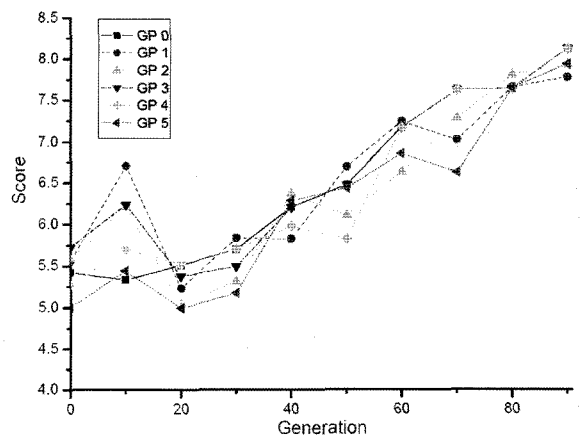


그림 6 세대별 진화과정에 따른 사용자 평가 점수

표 2 진화과정 중 생성된 문장

세대	문장
0	손님은 서울에서 10월 10일에 출발하고 몇 시에 도착 하길 원합니까? 그리고 몇 시에 도착하길 원하십니까? 그리고 손님은 부산에 갑니다.
30	손님은 서울에서 10월 10일에 출발합니다. 어떤 기차를 타길 원하십니까? 그리고 손님은 몇 시에 떠나니까?
60	손님은 부산에 갑니다. 그리고 손님은 서울을 몇 시에 떠나십니까?
90	손님은 서울에서 부산으로 몇 시에 갑니까?

표 2는 도메인 정보로 \$출발지\$, \$도착지\$, \$출발 날짜\$를 각각 '서울,' '부산,' '10월 10일'을 사용했을 때 생성된 문장을 나타낸다. 처음 세대에서는 복잡하고 어색한 문장이 생성되었지만, 진화가 진행됨에 따라 간결한 문장을 획득하였다.

3.2. 사용자 성향 분석을 위한 기계학습 기법

사용자의 일정을 관리하는 지능형 에이전트에 관한 연구가 진행 중인데, **일정관리**는 **업무 능력이 효율적으로 발휘되도록 회의, 약속 등에 대한 예정의 작성, 변경, 조정하는 것으로 사용자마다 하는 일과 생활 습관이 다르기 때문에, 사용자 성향의 학습이 필요하다.** 본 사례에서는 베이지안 네트워크를 이용하여 **사용자의 성향을 모델링하고 상황에 적절한 일정관리 서비스를 제공하는 지능형 일정관리 에이전트를 소개한다.**

최근 기계학습 기법으로 다시 부각되고 있는 **베이지안 네트워크**는 변수 사이의 인과관계를 **확률적으로 표현하는 기법으로 사용자 모델링에 주로 적용된다.** 베이지안 네트워크를 사용한 사용자 모델링은 신경망, 규칙 학습 등의 데이터 기반 방법에 비해 **설계자의 사전지식을 활용하기 쉬워 기대치만큼의 성능을 쉽게 얻을 수 있다.**

사용자의 일정에 대한 성향을 파악하기 위해 그림 7과 같은 베이지안 네트워크를 이용하여 일정의 우선순위를 판단한다. 일정의 우선순위는 1차적으로 일정의 긴급도, 중요도, 선호도의 영향을 받는다. 긴급도는 일정의 남은 시간에 비례하여 높아지고, 중요도는 일정에 대한 사용자의 중요도와 일정 참가자에 대한 중요도의 영향을 받는다. 선호도는 일정에 대한 사용자 선호도와 일정 참가자에 대한 사용자 선호도, 그리고 시간 선호도에 영향을 받는다.

우선순위, 긴급도, 선호도, 중요도, 참가자 중요도, 참가자 선호도, 일정 중요도, 일정 선호도, 시간 선호도는 베이지안 네트워크의 규모가 필요없이 커지는 것을 방지하기 위해 일정의 종류가 바뀔때 따라서 파라

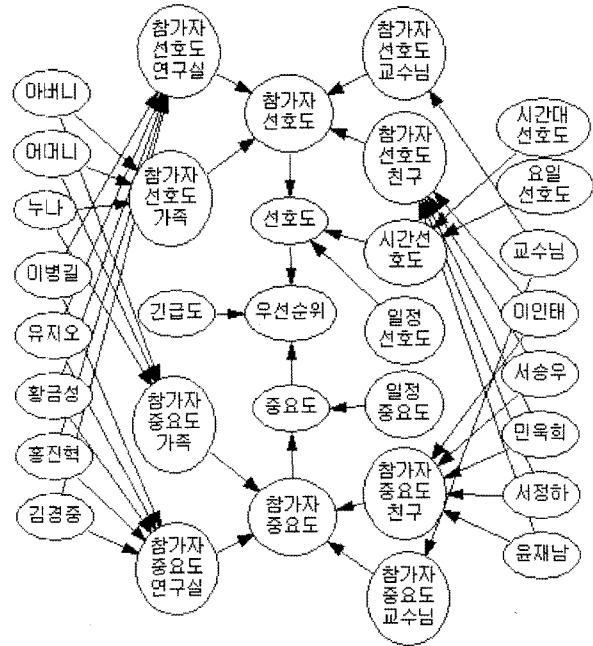


그림 7 일정 우선순위 분석을 위한 베이지안 네트워크

미터 값을 변경하며, 사회성모델(일정 참가자들)은 사용자의 주소록을 바탕으로 추가, 삭제된다. 보통 일정에 대한 정보는 일정 종류, 참가자, 시간, 장소 등과 같은 입력만이 들어오므로, 각 일정에 대한 우선순위, 선호도, 중요도 등을 직접적으로 알 수 없다. 또한 같은 일정도 시간에 따라서 그 중요도 및 선호도가 변화하기 때문에 베이지안 네트워크 파라미터는 불완전한 데이터로부터 실시간 학습을 수행하여 계산한다 [15].

사용자의 성향이 모델링되기 전에는 에이전트의 신뢰도가 낮아 일처리에 있어 사용자의 의견을 물어본다. 하지만 오랜 기간 동안 사용자의 성향을 충분히 학습하면 신뢰도가 높아져 스스로 행동을 하고 표 3과 같은 행동 전략에 따라 사용자에게 보고하는 형식으로 서비스가 제공된다. 일정 우선순위는 신규 일정 입력 시에 중복되는 일정이 존재하면 어떠한 일정을 우선적으로 고려할지를 표 4와 같은 행동전략에 따라 결정할지 정한다.

표 3 신뢰도에 따른 에이전트의 행동전략

신뢰도	행동전략
0.0~0.6	사용자 명령에 수동적으로 서비스를 제공. 의사 결정이 필요할 때에는 사용자에게 어떤 것을 할지 물어봄.
0.6~0.9	스스로 상황을 파악하여 상황에 적절한 서비스를 추천.
0.9~1.0	알아서 일을 처리하고 사용자에게 보고.

표 4 중복 일정 처리

신뢰도	중복 일정 처리
0.0~0.6	에이전트: 중복된 일정이 있습니다.
0.6~0.9	추가 일정 우선순위 > 중복 일정 우선순위 에이전트: 승우와의 약속은 취소할까요?
	추가 일정 우선순위 < 중복 일정 우선순위 에이전트: 중복된 일정이 있습니다. 14시로 하는 것은 어떨까요?
0.9~1.0	추가 일정 우선순위 > 중복 일정 우선순위 에이전트: 승우와의 약속을 취소하겠습니다.
	추가 일정 우선순위 < 중복 일정 우선순위 에이전트: 중복된 일정이 있어, 14시로 잡겠습니다.

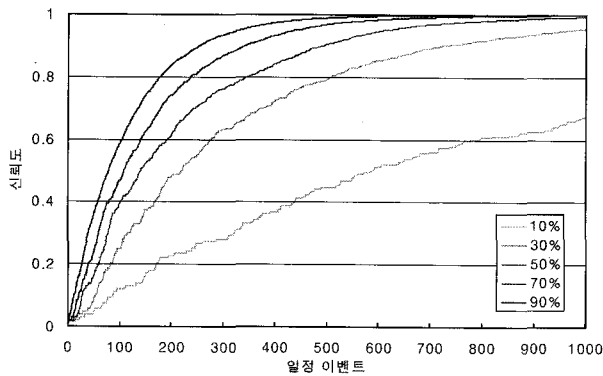


그림 8 일정 이벤트 진행에 따른 신뢰도 변화

실제 상황을 가정하여 생성된 일정관련 이벤트 데이터를 생성하여 에이전트의 신뢰도 변화를 측정하였다. 학습 데이터는 한 대학원생의 학기 중 생활을 분석하여 생성하고, 일정추가는 9종류의 일정을 확률적으로 생성하였다.

실험에서는 추가된 일정에 대해 사용자의 평가는 일정 확률로 존재한다고 가정하였으며, 각 일정의 평가는 일정의 우선순위, 선호도, 중요도, 참가자 중요도, 일정 중요도, 참가자 선호도, 일정 선호도, 시간 선호도 중, 한 번에 한 항목에 대해서 평가가 이루어지며 그 평가값은 사용자의 성향을 바탕으로 미리 정의된 베이지안 네트워크를 통하여 결정하였다. 실험은 사용자 평가의 비율을 10%, 30%, 50%, 70%, 90%로 변경하면서 진행되었다. 그림 8은 일정 이벤트의 진행에 따른 에이전트 모델의 변화를 보여준다.

4. 결론

본고에서는 지능형 에이전트에서의 기계학습 기법의 적용 동향과 관련 연구를 소개하였고, 최근 지능형 에이전트로 연구가 진행 중인 인공지능에 대한 간략한 소개와 기계학습 기술인 유전자 프로그래밍과 베이지안 네트워크를 활용한 성능향상 기법에 대해

살펴보았다.

최근 사용자의 각종 업무를 보조하는 지능형 에이전트가 많은 관심을 끌고 있는 가운데, 기계학습 기법의 도입을 통해 복잡하고 변하는 환경에서 사용자에게 적응적인 서비스의 제공이 시도되고 있다. 또한 지능형 에이전트와 관련된 많은 연구에서 기계학습 기술을 이용하여 사용자 성향을 파악하거나 대상 영역에서의 대규모 데이터를 분석하였다. **기계학습은 지능형 에이전트가 새로운 영역에 쉽게 적용되도록 할 뿐만 아니라 지속적으로 사용자에게 적응하고 성능이 향상되도록 하여 변하는 사용자의 기호나 성향을 적절히 반영하는데 일조할 것이다.**

참고문헌

- [1] N. Jennings and M. Wooldridge, "Applying agent technology," Applied Artificial Intelligence, Vol. 9, No. 4, pp.351~361, 1995.
- [2] P. Maes, "Agents that reduce work and information overload," Communications of the ACM, Vol. 37, No. 7, pp.31~40, 1994.
- [3] E. Thomas, et al., "Reusable ontologies, knowledge-acquisition tools, and performance systems: PROTÉGÉ-II solutions to Sisyphus-2," Int. J. of Human-Computer Studies, Vol. 44, No. 3-4, pp.303~332, 1996.
- [4] T. Mitchell, et al., "Experience with a learning personal assistant," Communication of the ACM, Vol. 37, No. 7, pp.80~91, 1994.
- [5] C. Lee and C. Pan, "An intelligent fuzzy agent for meeting scheduling decision support system," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 142, No. 3, pp.467~488, 2004.
- [6] S. Schiaffino and A. Amadi, "Polite personal agents," IEEE Intelligent Systems, Vol. 21, No. 1, pp.12~19, 2006.
- [7] H. Hagrais, et al., "Creating an ambient-intelligence environment using embedded agents," IEEE Intelligent Systems, Vol. 19, No. 6, pp.12~20, 2004.
- [8] H. Kautz, et al., "Referral web: Combining social networks and collaborative filtering," Communication of the ACM, Vol. 40, No. 3, pp.63~65, 1997.
- [9] C. Hsinchun, et al., "An intelligent personal spider(agent) for dynamic internet/intranet

searching," Decision Support Systems, Vol. 23, No. 1, pp.41~58, 1998.

[10] E. Horvitz, et al, "The Lumiere project: Bayesian user modeling for inferring the goals and needs of software users," Proc. 14th Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence, July 1998.

[11] M. Hamdi, "MASACAD: A multiagent-based approach to information customization," IEEE Intelligent Systems, Vol. 21, No. 1, pp.60~67, 2006.

[12] D. Garlan and B. Schmerl, "The RADAR architecture for personal cognitive assistance," Int. J. of Software Engineering and Knowledge Engineering, Vol. 17, No. 2, 2007.

[13] J.-H. Hong, S.-S. Lim, and S.-B. Cho, "Language learning for the autonomous mental development of conversational agents," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4234, pp. 892~899, 2006.

[14] S.-S. Lim and S.-B. Cho, "Language generation for conversational agent by evolution of plan trees with genetic programming," Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 3558, pp.305~315, 2005.

[15] S.-S. Lim and S.-B. Cho, "Online learning of Bayesian network parameters with incomplete data," Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 4114, pp.309~314, 2006.



홍진혁

2002년 연세대학교 기계전자공학부 정보산업전공 졸업
 2002년~2004년 연세대학교 컴퓨터과학과(석사)
 2004년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과(박사)
 관심분야 : 지능형 에이전트, 인공생명, 패턴인식, 진화게임
 E-mail : hjinh@candy.yonsei.ac.kr



조성배

1988년 연세대학교 전산학과(학사)
 1990년 한국과학기술원 전산학과(석사)
 1993년 한국과학기술원 전산학과(박사)
 1993년~1995년 일본 ATR 인간정보통신연구소 객원 연구원
 1998년 호주 Univ. of New South Wales 초청연구원
 1995년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 정교수
 관심분야 : 신경망, 패턴인식, 지능정보처리
 E-mail : sbcho@yonsei.ac.kr

프로그래밍언어연구회 춘계학술발표회

- 일 자 : 2007년 4월 28일
- 장 소 : 숙명여자대학교
- 내 용 : 학술발표 등
- 주 최 : 프로그래밍언어 연구회
- 상세안내 : <http://www.sigpl.or.kr>