

# 시맨틱 베이지안 네트워크를 이용한 적응형 사이버 에이전트의 복합인지처리

김경민\*, 홍진혁, 조성배

\*연세대학교 대학원 인지과학 협동과정

연세대학교 컴퓨터과학과

{kminkim\*, hjinh}@sclab.yonsei.ac.kr, sbcho@cs.yonsei.ac.kr

## Complex Cognitive Information Processing for Adaptive Cyber Agents using Semantic Bayesian Network

Kyoung-Min Kim\*, Jin-Hyuk Hong, Sung-Bae Cho

\*Graduate Program in Cognitive Science, Yonsei University

Dept. of Computer Science, Yonsei University

{\*kminkim, hjinh}@sclab.yonsei.ac.kr, sbcho@cs.yonsei.ac.kr

### 요 약

최근 전자상거래에 대한 관심과 투자가 집중되면서 효과적인 사용자 인터페이스인 대화형 에이전트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 대화형 에이전트는 사용자의 질의에 미리 준비된 답변을 제공하기 때문에 복잡한 대화 상황을 처리하지 못한다. 이런 한계를 극복하기 위해 베이지안 네트워크 등의 기법을 이용한 사용자 의도 추론 기술이 연구되고 있다. 본 논문에서는 기존의 정보검색을 위한 대화형 에이전트에서 사용자 의도 추론의 성능을 높이기 위해 노드간의 의미 관계를 표현하는 정보를 결합한 시맨틱 베이지안 네트워크(Semantic Bayesian Network; SeBN) 모델을 제안한다. 단발적인 질의 분석이 아닌 점증적 질의 분석 방법을 바탕으로 불충분한 정보로 적절한 답변을 추론하지 못할 경우에 MII(mixed-initiative interaction)를 수행하여 주어진 문제를 해결한다. 실제 모바일 검색 사이트에 제안하는 방법을 적용하여 유용성을 확인하였다.

#### 1. 서론

대화형 에이전트는 사용자의 의도나 요구를 대화를 통해 이해하고 적절한 서비스 및 정보를 제공하는 대표적인 지능형 에이전트이다. 전통적인 대화형 에이전트는 패턴매칭 등의 기술을 사용하여 사용자 질의에 대해 설계자가 미리 준비된 답변을 제공한다. 이런 경우 미리 설계된 질의에 대해서 고정된 답변이 반복적으로 출력되어 친밀감이 떨어지며, 다양한 상황에 대한 융통성이 적어 사용자의 요구에 적절한 답변을 제공하지 못하는 한계가 있다. 최근 이런 한계점을 극복하기 위해 베이지안 네트워크 등의 인공지능 기법을 이용한 사용자 의도 추론을 통해 보다 세밀하고 유연한 대화처리 모델이 연구되고 있다.

본 논문에서는 기존의 정보검색을 위한 대화형 에이전트에서 사용자 의도 추론에 사용된 베이지안 네트워크의 성능을 높이기 위해, 노드간의 의미 관계를 표현하는 시맨틱 베이지안 네트워크 모델을 제안한다. 불충분한 정보로 인해 적절한 답변이 추론되지 못하는 경우에는 MII(mixed-

initiative interaction)를 이용해 주어진 문제를 해결한다. 이때, 확률적 추론에 기반한 베이지안 네트워크에 의미 정보를 결합하여 사용자 의도 추론시 네트워크의 의미 관계를 분석하기 때문에, 검색 범위를 축소하고 다양한 유형의 질의를 처리하여 사용자의 요구를 보다 적극적으로 해결한다.

#### 2. 관련 연구

##### 2.1 지능형 대화 에이전트

최근 지능형 에이전트 기술의 효과적인 적용을 위해 인간과 컴퓨터의 상호작용을 통해 주어진 문제를 해결하려는 시도가 이루어지고 있으며, 지능형 에이전트의 효과적인 상호작용 수단으로 자연어 대화를 통해 사용자와의 쌍방향 커뮤니케이션을 가능하게 하는 대화형 에이전트가 관심을 끌고 있다[1]. 대화형 에이전트는 단순한 키워드나 메뉴 등의 방식이 아니라 자연어로 된 문장으로 사용자의 의도를 파악한다. 자연어 기반의 대화는 유연성(flexibility),

명료성(succinctness), 표현력(expressive power)에서 우수하기 때문에 인간과 컴퓨터간의 의사소통 수단으로 유용하다[2].

2.2 정보검색을 위한 베이지안 네트워크

최근 정보검색 시스템에서의 추론 모델에서 베이지안 네트워크의 적용이 증가하고 있다. 베이지안 네트워크는 불충분한 정보를 내포한 환경을 표현하고 추론하는데 효율적인 메커니즘이다. 정보검색 분야에서 베이지안 네트워크는 Turtle과 Croft에 의해 처음 소개되었으며, 전통적인 확률 모델보다 좋은 성능을 보였다[3]. Ribeiro- Neto와 Muntz에 의해 제안된 모델은 단지 확률적 타당성만 정의하는 것이 아니라 과거 질의로부터의 증거 조합까지 설명하였다[4]. Acid는 정확한 전파 알고리즘으로 정의된 토폴로지를 제공하여 확률 계산에 효율적으로 적용하였다[5]. 그 밖에도 베이지안 네트워크는 하이퍼텍스트의 자동 구성, 정보 필터링, 문서 클러스터링 및 분류 등의 다른 여러 정보검색 문제들에 적용되고 있다.

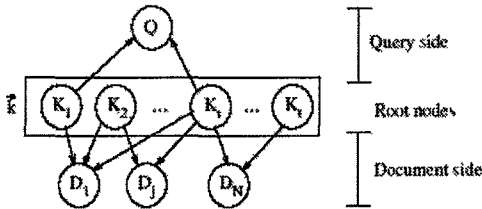


그림 1. 정보검색에서 베이지안 네트워크 구조

정보검색 시스템에서 주로 사용하는 베이지안 네트워크의 기본 모델[6]은 그림 1과 같이 질의와 문서, 키워드가 이벤트 형식으로 구성되고, 이벤트들은 서로 의존적인 관계를 가진다. 그림 1의 네트워크에서 각 노드  $D_j$ 는 문서 부분을, 노드  $Q$ 는 사용자 질의를 나타내고,  $k_i$  노드들은 키워드 집합을 나타낸다. 벡터  $\vec{k}$ 는  $k_i$  노드의 가능한 상태들 중 하나에 참조되어지는 것이다. 문서  $D_j$ 와 질의  $Q$  사이의 유사성은 질의가 발생된 문서  $D_j$ 의 발생 확률로 계산된다. 따라서 베이즈 정리와 전체 확률 법칙을 이용해 유사도  $P(D_j|Q)$ 를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P(D_j|Q) = \eta \sum_k P(D_j|\vec{k})P(Q|\vec{k})P(\vec{k})$$

3. 제안하는 적응형 사이버 에이전트

3.1 시스템 구조

제안하는 대화형 에이전트는 그림 2와 같이 멀티 모달 대화 인터페이스와 추론 모듈로 구성된다.

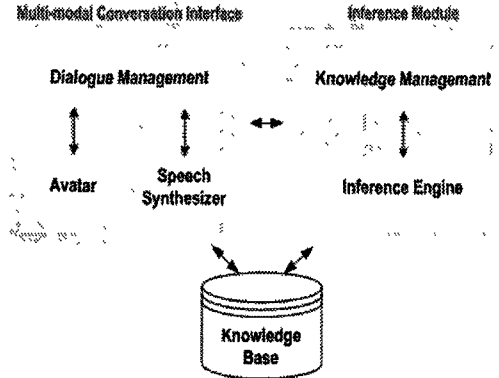


그림 258. 제안하는 적응형 사이버 에이전트

멀티 모달 대화 인터페이스는 대화 관리 모듈과 인터페이스 모듈로 구성되어 사용자에게 친근한 대화 인터페이스를 제공한다. 대화 관리 모듈은 스크립트 기반의 일상적인 질의를 처리하고, 아바타와 음성합성기로 구성된 인터페이스 모듈은 사용자에게 보다 친숙하고 편리한 의사 전달이 가능하도록 돕는다. 추론 모듈은 정보검색 시스템과 같이 사용자가 원하는 제품에 대한 정보를 제공하며, 지식 관리 모듈과 추론 엔진으로 구성된다. 지식 관리 모듈은 대상 도메인의 지식을 분석하여 저장하는 공간으로 해당 웹 문서의 내용을 추출하여 도메인 지식을 구축한다. 추론 엔진은 시맨틱 베이지안 네트워크를 이용하여 대화 관리 모듈에서 처리하지 못한 제품 검색에 대한 사용자 질의를 처리한다. 이때 질의에 대한 정보가 불충분할 경우 대화의 문맥 정보를 이용하거나 능동적으로 추가 정보를 수집하여 해당 제품 검색을 가능하게 한다.

3.2 대화 관리 모듈

대화 관리 모듈은 그림 3과 같이 사용자 질의를 분석한다. 먼저 전처리 단계에서 사용자 입력 질의를 분석하여 필요한 정보를 추출한다. 분석된 사용자 질의가 일상적인 대화를 유도하는 경우 대화 관리 모듈이 동작하고, 답변 스크립트로부터 적합한 값을 매칭하여 답변으로 출력한다.

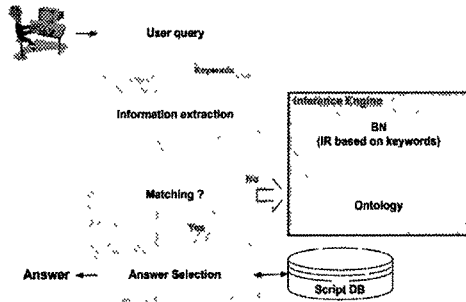


그림 3. 대화 관리 모듈

대화형 에이전트의 답변 선택을 위해 사용된 패턴매칭은 입력된 질의로부터 패턴을 추출하여 미리 구축된 지식구조의 패턴-답변쌍과 비교하여 동일한 패턴의 답변을 선택하여 사용자에게 제공한다. 패턴마다 답변이 결정되어 있기 때문에 사용자 질의에 반응적으로 동작하며, 추가적인 의도 추론 과정을 필요로 하지 않는다. 패턴은 대상 영역에서 발생하는 핵심어를 바탕으로 설계되며, 사용자 질의로부터 형태소 분석을 이용하여 핵심어를 추출함으로써 패턴을 비교한다. 패턴매칭에서 각 패턴-답변쌍에 대한 평가는 키워드의 출현 여부로 이루어진다. 기존의 점수 계산은 단순히 많은 수의 키워드가 일치하면 높은 점수를 얻도록 하는데, 이런 경우 질의에 포함된 정보량의 차이를 무시하여 매칭의 정확도를 저하시킨다. 지식구조의 크기가 커질수록 중복되거나 유사한 패턴이 많아지기 때문에 정보량을 고려한 매칭 기준이 필요하다.

$$F - measure = \frac{(\alpha + 1) \times precision \times recall}{\alpha \times precision + recall} \quad (1)$$

$$precision = \frac{A}{A + B} \quad (2)$$

$$recall = \frac{A}{A + C} \quad (3)$$

	입력질의		
패턴-답변쌍		포함	미포함
포함		A	B
미포함		C	D

A, B, C, D : 빈도 수

본 논문에서는 이를 위해서 문서분류에서 많이 사용하는 성능평가 기준인 *F-measure*를 패턴매칭에 적절히 변형하여 도입한다. *F-measure*는 문서분류에 있어서 정확률과 재현율을 함께 고려하여 분류 성능을 측정하는 도구이며, 수식 (1)과 같이 정의된다. 질의의 패턴 비교에 적합하도록 정확률과 재현율을 수식 (2), (3)과 같이 정의한다. 본 논문에서는 정확률과 재현율을 동일하게 고려하여 *F-measure*의  $\alpha$ 를 1로 설정하였다.

### 3.3 SeBN을 이용한 추론 모듈

본 논문에서는 사용자 의도를 정확히 추론하여 사용자가 원하는 정보를 검색하기 위해서 시맨틱 베이지안 네트워크를 제안한다. 기존의 베이지안 네트워크를 이용한 대화형 에이전트나 IR 모델에서는 사용자 질의를 단발적으로 처리하여 가장 유력한 정보를 추론하도록 하였으나, 제안하는 시맨틱 베이지안 네트워크는 사용자의 의도를 단계적으로 추론한다.

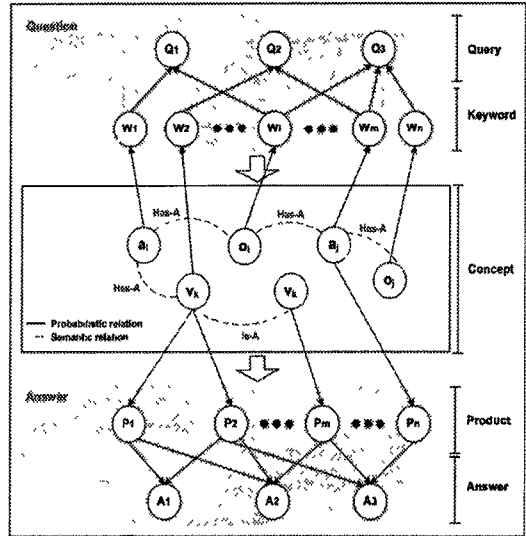


그림 260. 사용자 의도 추론을 위한 SeBN 구조

그림 4는 시맨틱 베이지안 네트워크의 구조를 보여준다. 시맨틱 베이지안 네트워크는 기존 IR 모델에서 사용되는 베이지안 네트워크에 의미정보를 부여한 방법으로, 사용자 질의에 포함된 단어를 표현하는 키워드층, 제품들로 구성된 제품층과 키워드층과 제품층 사이에 존재하는 의미층으로 구성된다. 의미층은 대상 도메인에 존재하는 개념들로 구성되며, 개체(Object), 속성(Attribute)과 속성값(Value)으로 상세히 구분된다. 실선은 각 노드 사이의 확률적인 관계를 표현하며, 점선은 의미층 내의 노드들 사이의 의미적 관계를 표현한다.

시맨틱 베이지안 네트워크에서 확률적인 관계는 기존의 정보검색 모델에서와 같이 키워드층과 의미층, 의미층과 제품층 사이에 각각 존재한다. 키워드층과 의미층 사이의 확률적 추론은 다음과 같이 수행된다. 사용자 질의  $U = k_1, k_2, \dots, k_n$ 로부터 키워드층의 각 노드에 매핑을 수행한다. 사용자 질의에 포함된 키워드를 대표하는 노드의 확률값은 1로 부여하고, 사용자 질의에서 관측되지 않은 키워드를 나타내는 노드의 확률값은 0으로 정한다.

$$P(w) = \begin{cases} 1 & w \in U \\ 0 & w \notin U \end{cases}$$

시맨틱 베이지안 네트워크의 확률적 추론을 위해 증거변수의 값이 결정되면, 키워드층과 제품층의 각 노드의 확률값을 추론한다. 먼저 의미층 노드  $c$ 의 확률값은 키워드층을 증거변수로 사용하여 다음의 수식을 바탕으로 계산한다.

$$\begin{aligned} P(c|W) &= P(c|w_1, w_2, \dots, w_N) \\ &= \frac{P(c) \times P(w_1, w_2, \dots, w_N | c)}{P(w_1, w_2, \dots, w_N)} \\ &\approx P(c) \times P(w_1, w_2, \dots, w_N | c) \\ &= P(c) \times P(w_1 | c) \times P(w_2 | c) \dots \times P(w_N | c) \\ &= P(c) \times \prod_{i=1}^n P(w_i | c) \end{aligned}$$

(단,  $N$ 은 키워드 집합의 노드 수,  $c \in OUAUV$  ( $O$ : 키워드 집합,  $O$ : 개체 집합,  $A$ : 속성 집합,  $V$ : 속성값 집합))

의미층의 모든 노드의 확률값이 계산되면, 이를 증거변수로 사용하여 제품층 노드  $p$ 의 확률값을 추론한다.

$$\begin{aligned} P(p|C) &= P(p|c_1, c_2, \dots, c_L) \\ &= \frac{P(p) \times P(c_1, c_2, \dots, c_L | p)}{P(c_1, c_2, \dots, c_L)} \\ &\approx P(p) \times P(c_1, c_2, \dots, c_L | p) \\ &= P(p) \times P(c_1 | p) \times P(c_2 | p) \dots \times P(c_L | p) \\ &= P(p) \times \prod_{i=1}^L P(c_i | p) \end{aligned}$$

(단  $L$ 은 개념 집합의 노드 수,  $G=OUAUV$  ( $C$ : 개념 집합,  $O$ : 개체 집합,  $A$ : 속성 집합,  $V$ : 속성값 집합))

제품층의 모든 노드의 확률값이 계산되면 임계치를 넘는 노드를 검색한다. 적정 수의 노드가 검색되면 해당 제품의 정보를 사용자에게 제공한다. 본 논문에서는 하나의 제품만이 선택될 때 확률적 추론이 성공적으로 수행되었다고 정의한다.

다음으로 시맨틱 베이지안 네트워크의 의미적 추론은 의미층에서 수행된다. 의미층은 시맨틱 네트워크의 형태로써 개념 노드들 사이의 의미적인 관계를 표현한다. 기본적으로 각 노드의 관계는 'Has-a'와 'Is-a'로 표현되며, 개체의 종류에 따라서 표 1과 같이 보다 구체적으로 총 3가지 관계(O-A, A-V, Is-a)로 정의된다.

표 1. 의미적 관계(링크)

종류	세부 분류	관계명	예
Has-a	개체-속성	O-A	핸드폰-벨소리, MP3-가격
	속성-속성값	A-V	크기-대형, 가격-저가
Is-a	-	Is-a	크기-용량

표 2. SeBN의 의미적 추론 알고리즘

```

[Concept] Object : O = {o1, o2, o3, ..., on}
Attribute: A = {a1, a2, a3, ..., an}
Value : V = {v1, v2, v3, ..., vn}

i = find_high_probability_object();
// 임계치를 넘는 확률의 개체 노드 o 검색
if(object(o) > alpha)
{
    j = find_OA_attribute(o);
    // 노드 o와 O-A 관계를 갖는 임계치를 넘지 않는 속성 a 검색
    if(attribute(a) < beta)
        response(a, v);
    else
        reject;
}
else
{
    j = find_high_probability_attribute();
    // 임계치를 넘는 확률의 속성 노드 a 검색
    if(attribute(a) > alpha)
    {
        // 노드 a와 O-A 관계를 갖는 개체 노드 집합 O 검색
        i = find_OA_object(o);
        response(o);
    }
    else
        reject;
}
    
```

도메인 분석을 통해 시맨틱 베이지안 네트워크의 의미층을 의미적 관계를 이용하여 정의한 후, 확률적인 사용자 의도 추론이 어려울 경우에는 표 2에 설계된 의미적 사용자 의도 추론을 수행한다. 먼저 임계치를 넘는 확률의 개체 노드  $o$ 를 검색하고, 선택된 노드  $o$ 와  $O-A$  관계를 갖는 임계치를 넘지 않는 속성  $a$ 를 검색한다. 선택된 속성  $a$ 에 대한 추가 정보를 요청하고, 사용자로부터 추가로 수집된 정보를 함께 고려하여 다시 추론을 수행한다. 원하는 제품이 선택될 때까지 이 과정을 반복한다.

사용자가 원하는 제품을 검색하기 위해서는 제품 추론을 위한 충분한 정보가 수집되어야 하는데, 기존의 정보검색 시스템은 하나의 사용자 질의에 모든 정보를 포함해야 정확한 검색이 가능하였다. 단발적인 추론을 수행하는 기존의 방법과는 달리, 본 논문에서는 제품 검색을 위한 정보가 충분하지 않을 경우 의미적인 추론을 통하여 사용자에게 추가로 필요한 정보를 요청하여 사용자가 원하는 제품이 검색될 수 있도록 대화를 수행한다.

4. 실험 결과  
4.1 실험 환경

제안하는 지능형 대화 에이전트는 Visual C++ 6.0 환경에서 구축되었으며, 그림 5는 실제 테스트 인터페이스를 보여준다.



그림 5. 시스템 인터페이스

표 3. 각 데이터베이스 오브젝트의 속성

데이터베이스	속성
핸드폰	브랜드, 제조사, 모델명, 이미지, 벨소리, 카메라(유/무), 화소, 크기, 무게, 색상, 가격, 출시일
MP3	브랜드, 제조사, 모델명, 이미지, 메모리, 크기, 무게, 색상, 특징, 재생시간, 가격, 출시일
디지털카메라	브랜드, 제조사, 모델명, 이미지, 화소, 메모리, 줌, 특징, 크기, 무게, 색상, 가격, 출시일

실험 도메인은 휴대폰, MP3, 디지털카메라의 3가지 모바일 제품을 소개 및 검색하는 웹 사이트를 대상으로 한다. 표 3은 실험 도메인에 해당하는 데이터베이스의 각 오브젝트를 구성하는 속성들을 보여준다. 모든 데이터베이스는 3가지 도메인을 대상으로 5개의 웹 사이트(네이버 지식쇼핑, 삼성물 LG이숍, 디시인사이드, 에누리닷컴)로부터 추출된 정보로 설계되었다.

표 4는 각 데이터베이스의 전체 제품수와 테스트를 위한 질의문의 수를 보여준다. 테스트 질의문의 로그는 유효하지 않기 때문에 메시지를 통해 로그 파일을 수집하여 테스트 질의문을 설계하였다.

표 4. 모든 데이터베이스 통계 (단위: 개)

데이터베이스	제품	테스트 질의문
핸드폰	240	12
MP3	688	12
디지털카메라	488	13

4.2 처리 대화 분석

일반적인 대화형 에이전트에서 처리되지 못하는 질의에 대해서 시맨틱 베이지안 네트워크의 추론 모듈에서 의미적 추론을 수행하고, 이를 바탕으로 상호주도적 사용자 의도 추론 과정을 거쳐 사용자의 요구에 적합한 답변을 내보낸다. 그림 6에서 사용자는 원하는 제품을 검색하기 위해 자신의 의도와 관련된 부분적인 정보를 포함한 질의를 에이전트에게 던진다. 에이전트는 시맨틱 베이지안 네트워크의 확률적 추론을 통해 적절한 제품을 검색하지만, 이 경우 복수의 제품이 검색되어 정확한 의도 추론을 위해 추가적인 정보가 필요함을 확인하였다. 추가로 필요한 정보를 파악하기 위해서 의미적 추론을 수행하는데, 먼저 의미층에서 활성화된 개체를 검색하고, 이 개체와 0-4관계를 갖는 가장 낮은 확률의 속성을 선택한다. 그림 6에서는 “색상”이 선택되고 이와 관련된 추가적인 정보를 요구하는 질의 “어떤 색상을 원하세요? 빨강, 실버?”가 사용자에게 출력된다. 사용자가 색상에 관련된 자신의 의도를 추가적으로 입력하면, 이를 함께 고려하여 시맨틱 베이지안 네트워크의 확률적 추론을 다시 수행한다. 수행 결과 복수의 제품이 검색되면 다시 의미적 추론을 통한 상호주도적 대화를 수행하고, 적절한 제품이 검색되면 추론을 완료하고 해당 제품의 정보를 사용자에게 제공한다.

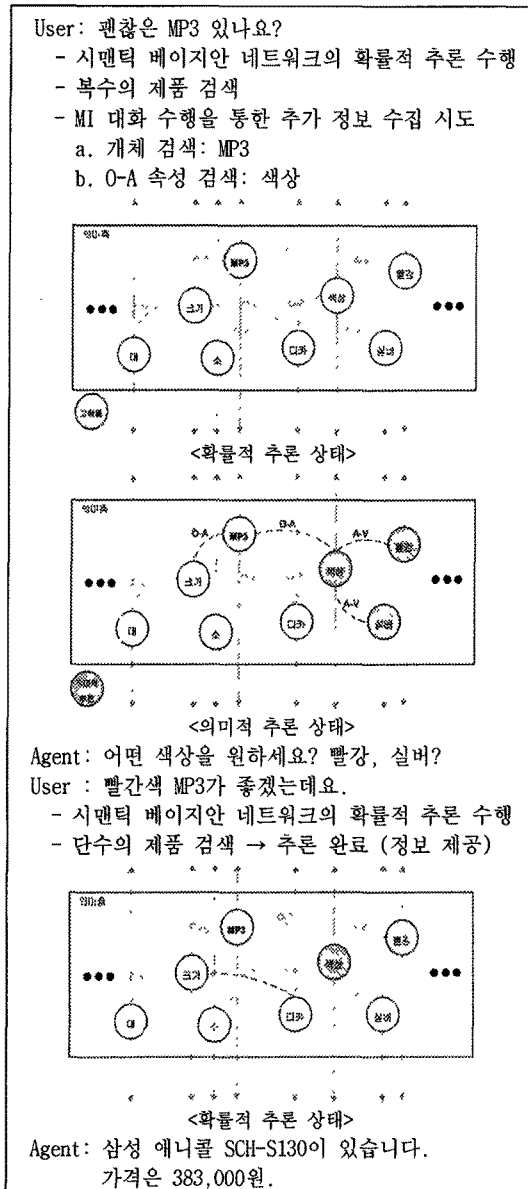


그림 6. 상호주도적 대화를 통한 제품검색 예

5. 결론

본 논문에서는 사용자의 의도를 능동적으로 추론하기 위해 시맨틱 베이지안 네트워크를 이용한 대화형 에이전트를 제안하였다. 사용자가 원하는 제품을 정확히 검색하기 위해서, 확률적 추론과 의미적 추론을 통해 상호주도적 대화를 수행하여 능동적으로 사용자의 의도를 파악한다. 또한 대상 영역의 개념들 사이의 관계를 의미적으로 모델링

하여 설계자가 보다 쉽게 네트워크를 설계하고 직관적으로 대상 영역을 이해하도록 돕는다.

본 논문에서는 대화형 에이전트의 유연성과 능동성에 초점을 맞춰 시스템을 설계하였다. 보다 지능적인 대화 에이전트를 구현하기 위해서는 시맨틱 베이지안 네트워크를 지식 데이터베이스와 대화 로그로부터 자동으로 생성하는 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-005-H00005).

참고 문헌

- [1] S. Macskassy, "A conversational agent," *Master Essay, Rutgers University*, 1996.
- [2] P. Nugues, C. Godereaux, P.-O. El-Guedj, and F. Revolta, "A conversational agent to navigate in virtual worlds," *Proc. of the Eleventh Twente Workshop on Language Technology*, S. LuperFoy, A. Nijholt and G. Zanten eds., Universiteit Twente, Enschede, pp. 23-33, 1996.
- [3] H.R. Tute and W.B. Croft, "Inference networks for document retrieval," *13th International Conf. on Research and Development in Information Retrieval*, pp. 1-24, 1990.
- [4] B. Ribeiro-Neto and R. Muntz, "A belief network model for IR," *Proc. of the 19th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, ACM Press, pp. 253-260, 1996.
- [5] S. Acid, et al., "An information retrieval model based on simple Bayesian networks," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 251-265, 2003.
- [6] P. Calado, et al., "A Bayesian network approach to searching Web databases through keyword-based queries," *Information Processing and Management*, vol. 40, pp. 773-790, 2004.