

베이지안 네트워크 기반 집안 환경 요소 위치 추론을 이용한 지능형 홈 로봇의 효율적인 심부름 서비스

윤종원^{a0} 박한샘^a 조성배^a 김경록^b 박기철^b
연세대학교 컴퓨터과학과^a, 삼성전자 생산기술연구소^b
jwyoons@scslab.yonsei.ac.kr, sammy@scslab.yonsei.ac.kr, sbcho@cs.yonsei.ac.kr,
kyungroc.kim@samsung.com, kicheol.park@samsung.com

An Efficient Delivery Service of Intelligent Home Robot using Bayesian Network based Location Inference of Home Environment Factors

Jongwon Yoon^{a0}, Han-Saem Park^a, Sung-Bae Cho^a, Kyung-Rock Kim^b, Ki-Cheol Park^b
Dept. of Computer Science, Yonsei University^a,
Mechatronics & Manufacturing Technology Center, Samsung Electronics^b

요 약

최근 들어 지능형 홈 서비스, 그 중에서도 지능형 홈 로봇에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 지능형 홈 로봇은 집안 환경을 직접 순회하며 서비스를 수행할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 홈 로봇의 경우 얻을 수 있는 정보가 제한적이라는 한계가 존재하는데, 이러한 한계를 극복하기 위해서는 얻을 수 있는 제한적인 정보로부터 관측 불가능한 정보를 추론하는 부분이 필수적이다. 본 논문에서는 홈 로봇의 베이지안 네트워크 기반 집안 환경 요소 위치 추론을 통한 효율적인 심부름 서비스 방법을 제안한다. 이를 위해 일반적인 홈 로봇의 심부름 서비스 분석과 집안 환경 요소 모델링이 수행되었으며 집안 환경 내 요소의 위치 추론을 위한 베이지안 네트워크를 설계하였다. 제안하는 방법의 유용성을 보이기 위해 동작 예시 분석이 이루어졌으며, 일반적인 집안 탐색 방법과 서비스 수행 시간을 비교하여 제안하는 방법의 실제 효율적인 심부름 서비스 제공을 확인하였다.

1. 서 론

최근 들어 지능형 홈에 관한 연구는 다양한 최신 기술들을 활용하여 전 세계 곳곳에서 이루어지고 있다[1]. 특히 서비스 로봇에 대한 관심이 증가하여 스마트 홈에 로봇을 접목시킨 지능형 홈 로봇 역시 주목받고 있다.

홈 로봇은 다른 지능형 홈서비스와는 달리 집안 내에서 로봇이 직접 이동을 하며 정보를 수집하고 서비스를 수행한다는 그 자체의 특성 때문에 사용자에게 직접 물건 배달과 같은 심부름 서비스를 수행할 수 있다는 장점이 있으나 반면에 집안 상황정보에 대해 집안 모든 구역이나 물체에 대한 정보를 얻을 수 없고 현재 로봇이 위치한 장소에 국한되어 로봇의 센서에 의존하여 일부분의 정보만 수집할 수 있다는 한계가 있다. 특히 심부름과 같은 서비스의 경우 위치가 알려지지 않은 물체나 대상을 찾아가야 할 필요가 있다는 점에서 이러한 한계는 서비스의 효율성을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 홈 로봇이 얻을 수 있는 정보의 한계를 극복하기 위해서는 로봇이 수집할 수 있는 제한된 양의 정보로부터

알려지지 않은 정보를 추론하기 위한 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 홈 로봇의 효율적인 심부름 서비스를 위해 베이지안 네트워크를 이용한 집안환경 상황추론을 제안한다. 베이지안 네트워크 모델링을 위해 홈 환경을 모델링 하였으며, 이를 이용하여 집안 요소의 위치 추론을 위한 베이지안 네트워크를 설계하였다. 로봇은 제안된 방법을 통해 추론된 집안 환경 요소의 위치로 바로 이동하여 탐색 시간의 낭비 없이 보다 효율적인 심부름 서비스의 제공이 가능하다.

2. 배 경

2.1 홈 로봇

현재 홈 로봇은 다양한 분야의 집안 관리 및 서비스에 사용되고 있다. 특히 로봇의 특성을 이용하여 사용자에게 직접 서비스를 제공해 줄 수 있는 홈 로봇에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Park 등은 집안 환경 내에서 노인이나 장애인을 보조해줄 수 있는 인간 친화적 보조 로봇을 제안하였다[2].

제안한 로봇은 사용자 상태나 음성, 몸짓 등에 반응하여 물체 배달, 가전제품 원격 사용 등의 서비스를 제공한다. 또한 Graf 등은 집안 내에서 장애가 있는 사람을 보조하기 위한 Care-O-bot을 제안하였다[3]. 제안한 로봇은 물체 배달, 이동, 가전제품 관리 등의 서비스를 수행한다. Taipalus 등은 집안 환경 내에서 시각 기반 인식 방법을 통해 물체를 탐색하여 직접 물체를 잡고 사용자에게 운반할 수 있는 로봇을 제안하였다[4].

홈 로봇 연구의 주된 목표 중 하나는 사용자에게 물체를 직접 운반하는 심부름 서비스의 제공이다. 그러나 기존의 연구는 심부름 서비스 구현 자체에 목적을 두고 있지만 동적으로 변화하는 집안 환경 내에서 효율적인 서비스 방법 설계 및 제공에 관한 연구는 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 이에 착안하여 홈 로봇의 효율적인 심부름 서비스 수행을 위한 방법을 제안한다.

2.2 베이지안 네트워크

베이지안 네트워크는 불충분한 정보를 가진 환경을 표현하고 추론하는 대표적인 기법들 중 하나로서, 변수사이의 확률적 의존성을 정의하는 방향성 그래프(DAG: Directed Acyclic Graph)이다[5]. 베이지안 네트워크의 추론을 사용하기 위해서는 네트워크의 구조가 먼저 설계되어야 하며, 각 노드의 결합 확률분포도 결정되어야 한다. 보통 네트워크의 구조는 전문가에 의해서 설계되며, 확률분포는 전문가에 의해서 결정되거나 수집된 데이터로부터 얻어진다. 증거 변수들이 관측되면 각 노드의 확률 값은 결합 확률테이블과 독립성 가정에 기초한 베이지안 추론 알고리즘에 의해 계산된다.

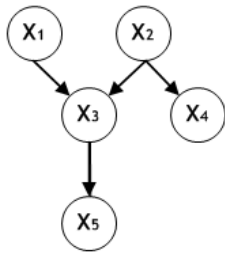


그림 1. 간단한 베이지안 네트워크 구조

예를 들어 그림 1의 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 가 주어진 도메인의 랜덤변수들이라 할 때, 그들의 결합 확률 분포 $P(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ 는 변수들의 독립성 가정과 체인룰을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = P(x_1)P(x_2)P(x_3|x_1, x_2)P(x_4|x_2)P(x_5|x_3) \quad (1)$$

베이지안 네트워크를 사용한 모델링은 신경망, 규칙 학습 등의 데이터 기반 방법에 비해 네트워크의 노드간의 연결 관계와 확률 값을 결정하는 데 있어서 사용자의 사전 지식을 충분히 활용하기 쉬운 장점이 있다.

본 논문에서는 동적으로 변화하는 집안 환경 내에서 로봇이 얻을 수 있는 정보의 제한성을 극복하고 효율적인 심부름 서비스를 위한 집안 환경 요소의 위치 추론을

위해 베이지안 네트워크를 이용하였다. 베이지안 네트워크의 설계를 위해 집안 환경에 대한 사전 지식을 모델링하고 정의된 집안 환경 모델 내부의 요소들 간의 관계를 활용하여 변수들 간의 인과 관계를 정의하였다.

3. 집안 환경 요소 위치 추론 기반 심부름 서비스

본 논문에서는 집안 환경 요소 위치 추론 기반 심부름 서비스 방법을 제안한다. 집안 환경 요소의 관리 및 요소간 관계 표현을 위해 집안 환경 모델링을 수행하였으며 모델링을 통해 설계된 집안 환경 모델 기반 베이지안 네트워크 설계가 이루어졌다.

3.1 심부름 서비스 분석

일반적인 심부름 명령은 크게 심부름 물체와 심부름 대상으로 구분된다. 로봇의 심부름 작업은 심부름 물체로 이동하여 물체를 가지고 심부름 대상에게로 이동하는 것으로 완료될 수 있다. 그림 2는 심부름 명령의 구조와 로봇의 수행 과정을 보여준다.

홈 로봇의 효율적인 심부름 서비스 수행을 위해서는 심부름 물체와 대상의 위치로의 이동 시간을 최소화 시킬 필요가 있다. 성공적인 심부름 수행을 위해서 로봇은 물체와 대상의 위치를 모두 알아야 한다. 물체와 대상의 현재 위치는 모두 알려져 있을 수도 있지만 동적으로 변화하는 집안 환경의 특성상 현재 위치에 관한 정보가 알려져 있지 않을 가능성이 높다.

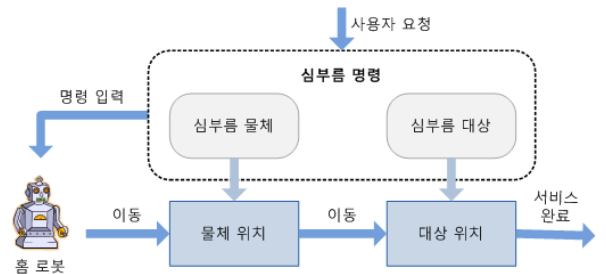


그림 2. 심부름 명령의 구조 및 로봇의 수행 과정

물체나 대상의 위치를 모르는 경우, 로봇은 물체나 대상을 찾기 위해 집안을 탐색할 필요가 있다. 그러나 알려진 정보 없이 집안을 순차적으로 탐색한다면 로봇의 서비스 수행 완료까지 탐색을 위한 많은 이동이 소모되며 결과적으로 서비스의 효율은 감소한다.

로봇의 탐색 시간을 감소시키고 효율적인 심부름 서비스의 제공을 위해서는 수집된 정보를 이용하여 현재 물체나 대상의 위치를 추론하는 부분이 필요하다. 위치 추론을 통해 로봇은 추론된 위치부터 탐색을 수행하여 사용자에게 보다 효율적으로 서비스를 제공해 줄 수 있다.

3.2 집안 환경 모델링

홈 로봇의 집안 환경 요소 추론을 위한 베이지안 네트워크 모델 설계를 위해서는 집안 환경 요소들 간의 관계

를 정의하는 작업이 선행되어야 한다. 이를 위해 집안 환경의 모델링을 수행하였다. 환경 모델 M 은 다음 수식과 같이 환경 요소 집합 E 와 연결 집합 L 로 구성된다. e_i 는 i 번째 환경 요소를 나타내며 $l_{i,j}$ 는 e_i 로부터 e_j 로의 연결을 나타낸다. 환경 요소는 사용자, 시간, 공간, 상황, 물체로 구분된다.

$$M = \{E, L\}, e_i \in E, l_{i,j} \in L \quad (2)$$

$$E = \{User, Time, Space, Context, Object\}$$

표 1은 각각의 요소에 대한 설명과 대표적인 예들을 보여준다.

표 1. 집안 환경 요소와 예

요소	설명	예
사용자	집안 사용자 정보	사용자 프로필, 사용자 상태 등
시간	현재 시간 관련 정보	요일, 시간대 등
장소	위치와 관련된 정보	거실, 안방, 공부방, 화장실 등
물체	집안 물체 정보	TV 전원, 냉장고 상태, 물체 위치 등
상황	집안에서 일어나는 상황 정보	취침 중, 식사 중, 휴식 중 등

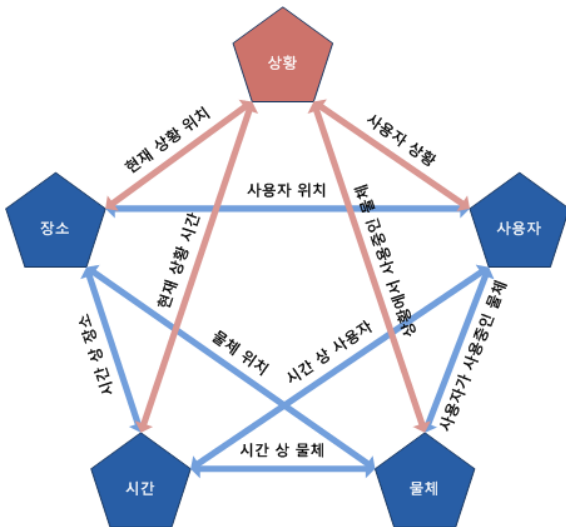


그림 3. 집안 환경 요소간의 연결 관계

그림 3은 각각의 집안 환경 요소간의 연결 관계의 의미를 나타낸다. 정의된 연결 관계는 이후 베이지안 네트워크 설계시 각각의 변수간의 관계를 정의하는 데 이용된다. 본 논문에서는 설계된 집안 환경 요소간의 연결 관계를 이용하여 심부름 물체나 대상의 장소를 추론하는 방법을 제안한다.

3.3 베이지안 네트워크 기반 집안 요소 위치 추론

본 논문에서는 홈 로봇의 효율적인 심부름 서비스 제

공을 위한 집안 요소의 위치 추론을 위해 베이지안 네트워크 기반 방법을 제안한다. 홈 로봇의 특성상 로봇이 얻을 수 있는 정보는 그 수가 제한적이고 상태 역시 불확실하다. 이러한 상황에서 베이지안 네트워크는 유용하게 사용될 수 있다.

베이지안 네트워크 설계를 위해 앞서 정의한 5가지 집안 환경 요소와 서로간의 연결 관계를 이용하였다. 모델의 환경 요소들 간의 연결 집합 L 을 이용하여 요소들 사이의 확률분포를 다음과 같이 추론할 수 있다.

$$P(e_1, e_2, \dots, e_n) = \prod_i P(e_i | Parents(e_i)) \quad (3)$$

$$Parents(e_i) = \{e_k | l_{k,i} \in L\}$$

그림 4는 집안 환경 요소의 위치 추론을 위한 베이지안 네트워크의 구조를 보여준다.

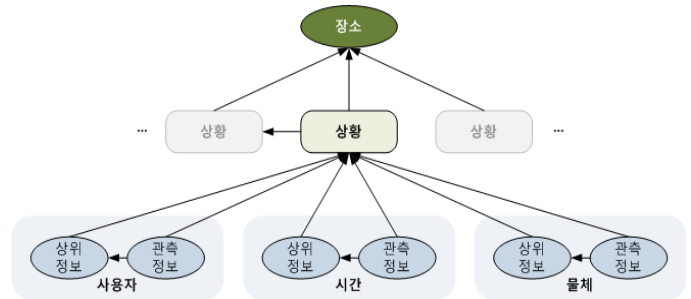


그림 4. 집안 환경 요소 위치 추론을 위한 베이지안 네트워크의 기본 구조

집안 환경 요소의 위치 추론을 위해 사용자, 시간, 물체에 대해 일반적으로 로봇의 센서 등으로 수집할 수 있는 관측 정보를 이용한다. 이후 수집된 관측 정보를 이용하여 상위 정보를 추론한다. 표 2는 사용자, 시간, 물체 환경 요소 별 관측 가능 정보와 상위 정보의 예를 보여준다.

표 2. 환경 요소 별 관측 가능 정보와 상위 정보

요소	관측 가능 정보	상위 정보
사용자	사용자 연령대, 사용자 동작, 사용자 선호 위치 등	사용자 활성화도
시간	요일, 시간대	활동 시간 여부
물체	가전제품 상태, 물체 최근 위치, 평소 위치 등	집안 활성화도 상태

이후 사용자, 시간, 물체 정보를 이용하여 위치를 추론하고자 하는 대상 환경 요소의 상황을 추론한다. 이후 추론된 상황과 장소간의 연결 관계를 고려하여 최종적으로 환경 요소의 위치를 추론한다.

예를 들어 사용자가 식사 중인 상황이라면 부엌에 있을 확률이 높아지며, 취침 중인 상황이라면 침실에 있을 확률이 높아지게 된다. 또한 식사 중인 경우 컵이나 쟁반 등의 물체는 식탁 위에 놓여 있을 확률이 증가하며 이외의 경우에는 싱크대 등에 보관중일 확률이 높아진

다. 그림 5와 6은 각각 물체 추론 베이지안 네트워크와 대상 추론 베이지안 네트워크의 예시를 보여준다.

안 환경 내 존재하는 심부름 관련 환경 요소를 보여준다.

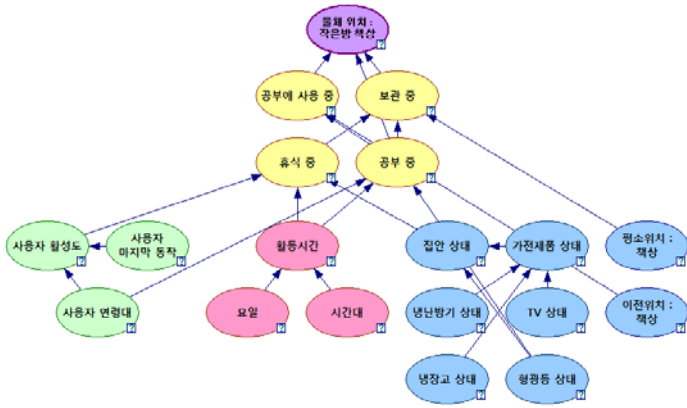


그림 5. 물체가 작은방 책상에 있을 확률을 추론하기 위한 베이지안 네트워크 예



그림 7. 가상 집안 환경 평면도

표 3. 가상 집안 환경 내 심부름 관련 요소

요소	종류
사용자	아빠, 엄마, 아들
이동 가능 물체	책, 컵, 쟁반, 음료수, 우산, 신발, 모자, 외투, 가방
대상 위치 가능 장소	현관, 부엌, 화장실, 안방, 거실, 작은방
물체 위치 가능 장소	냉장고, 싱크대, 식탁, 옷장, 침대, 소파, 책상, 침대, 책장

4.2 가상 시나리오를 통한 실험

제안하는 방법의 실제 사용 예를 보이기 위해 가상 시나리오를 설계하고 시나리오 상에서 제안하는 방법을 이용한 심부름 서비스의 수행 과정을 분석하였다. 시나리오 설계를 위해 일반적인 집안 내 저녁시간 상황을 설정하였다. 표 4는 설계한 가상 시나리오의 집안 상황을 나타낸다.

표 4. 가상 시나리오 상 집안 상황 (*은 로봇이 현재 관측 불가능한 정보)

시간	18:35	날씨	맑음
형광등 상태	켜짐	냉난방기	켜짐
냉장고 상태	닫힘	TV 상태	켜짐
대상 유형	아들	대상 연령대	10대
대상 위치*	거실	대상 상황*	TV 시청 중
물체 유형	책	물체 위치*	책장
물체 상황*	보관 중		

로봇은 베이지안 네트워크를 통해 추론된 위치별 확률을 이용하여 효율적인 집안 환경 요소 탐색을 수행할 수 있다. 로봇은 가장 높은 확률을 지닌 위치로 이동하여 심부름 물체, 혹은 대상을 탐색하며 해당 위치에 원하는 목표가 존재하지 않더라도 다음으로 높은 확률을 지닌 위치로 순차적으로 이동하여 서비스를 수행한다.

4. 실험 및 평가

4.1 실험 환경 설계

제안하는 방법의 실험 및 평가를 위해 일반적인 가정 환경을 바탕으로 하여 가상의 집안 환경을 설계하였다. 집안에는 3명의 가족 구성원과 9개의 이동 가능 물체가 존재한다. 설계된 집안 환경은 6개의 대상 위치 가능 장소와 9개의 물체 위치 가능 장소로 구분된다. 사용자는 대상 위치 가능 장소 중 한 군데에 위치할 수 있으며 물체는 물체 위치 가능 장소 중 한 군데에 존재한다. 그림 7은 설계한 집안 환경의 평면도를 나타내며 표 3은 집

평일 저녁, 아들은 거실에 앉아 TV를 보고 있다. 이때, 엄마는 아들에게 독서를 권유하기 위해 "책을 찾아 아들에게 가져다 줘." 라는 심부름 명령을 내린다. 심부름 명령을 내리면, 로봇은 명령을 분석한 뒤, 우선 심부름 물체인 '책'을 획득하기 위해 현재 획득 가능한 정보를 베이지안 네트워크의 증거로 설정한 뒤 물체 위치 추론을 수행한다.

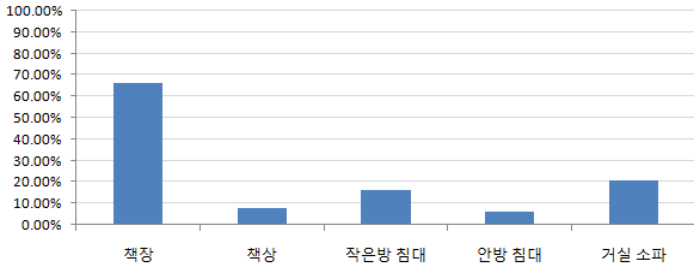


그림 8. 추천된 책의 위치별 존재 확률

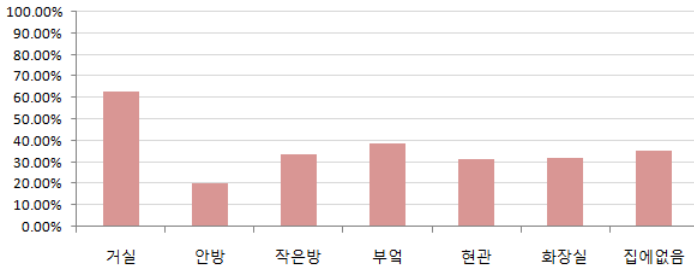


그림 9. 추천된 아들의 위치별 존재 확률

그림 8은 추론을 통해 얻은 책의 위치별 존재 확률을 보여준다. 로봇은 가장 높은 확률값을 갖는 '책장'으로 이동하여 책을 획득한다. 이후 로봇은 심부름 물체를 가지고 대상의 위치를 추론한다.

그림 9는 심부름 대상인 아들의 추천된 위치별 존재 확률을 나타낸다. 추론 결과 로봇은 가장 확률이 높게 나온 거실로 이동하여 아들에게 책을 전달해 줌으로써 성공적으로 심부름 서비스를 수행한다.

4.3 심부름 서비스에서의 효율성

제안하는 방법이 실제 효율적인 심부름 서비스를 제공함을 보이기 위해, 순차적으로 집안 환경 요소를 탐색하여 심부름 서비스를 제공하는 일반적인 방법과 비교 실험을 수행하였다.

집안 내 장소간 이동 시간은 모두 같다고 가정하였으며 순차 탐색의 경우 로봇의 현재 지점으로부터 시계 방향으로 집안을 탐색한다고 가정하였다. 본 실험에서는 집안의 다양한 상황을 나타내는 50개 테스트 케이스를 기반으로 각 테스트 케이스에 대하여 제안하는 방법과 순차적으로 집안을 탐색하는 방법이 심부름 서비스를 완료하기 까지 소요된 장소간 이동 횟수를 측정하고 물체를 탐색하기까지 소요된 이동 횟수, 이후 대상을 탐색하기까지 소요된 이동 횟수와 서비스 전체를 수행하기 위한 총 이동 횟수의 평균 수치를 비교하였다. 표 5는 실험 결과를 보여준다.

실험 결과, 제안하는 방법의 경우 물체를 탐색하는데 까지 평균 1.18번, 이후 대상을 탐색하는데 까지 평균 1.14번의 장소 이동이 소요되었으며 심부름 완료까지 평균 총 2.32번의 이동이 필요했던 반면, 순차적으로 집안을 탐색하는 방법은 그보다 2배에 가까운 평균 3.84번의 물체 탐색 이동, 평균 2.48번의 대상 탐색 이동이 필요했으며 총 평균 6.32번의 이동을 거쳐 심부름 서비스

를 수행하는 모습을 보여주었다.

표 5. 심부름 서비스 효율성 실험 결과

	물체 탐색	대상 탐색	총 이동
제안하는 방법	1.18	1.14	2.32
순차 탐색 방법	3.84	2.48	6.32

일반적인 방법과의 비교 실험을 통해 제안하는 방법의 경우 불필요한 탐색을 줄이고 추천된 위치로 바로 이동함으로써 사용자에게 보다 빠른 시간 안에 서비스를 제공함을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 집안 환경 내에서 홈 로봇의 효율적인 심부름 서비스를 위한 베이지안 네트워크 기반 집안 환경 요소 위치 추론 방법을 제안하였다. 제안하는 방법을 통해 로봇은 심부름 물체와 대상의 위치를 추론하여 집안 내부를 모두 탐색할 필요 없이 바로 이동함으로써 보다 빠른 시간 안에 심부름 서비스를 완료할 수 있다.

제안하는 방법의 유용성을 보이기 위해 가상 시나리오 기반 동작 예 분석이 이루어졌으며, 실제 제안하는 방법과 집안을 순차적으로 탐색하는 방법 간의 수행 시간을 비교하여 실제 서비스 제공 과정에서의 효율성을 분석하였다.

향후에는 실제로 수집된 데이터를 기반으로 베이지안 네트워크를 학습하여 실제 환경에서도 최적화된 심부름 서비스를 제공하도록 하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] T. Yamazaki, "Beyond the smart home," *Int. Conf. on Hybrid Information Technology 2006*, vol. 2, pp. 350-355, 2006.
- [2] K.-H. Park, H.-E. Lee, Y.-M. Kim and Z. Z. Bien, "A steward robot for human-friendly human-machine interaction in a smart house environment," *IEEE Trans. on Automation Science and Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 21-25, 2008.
- [3] B. Graf, M. Hans and R. D. Schraft, "Care-O-bot II - Development of a next generation robotic home assistant," *Autonomous Robots*, vol. 16, no. 2, pp. 193-205, 2004.
- [4] T. Taipalus, and K. Kosuge, "Development of service robot for fetching objects in home environment," *In Proc. of the 2005 IEEE Int. Symp. on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, pp. 451-456, 2005.
- [5] R. E. Neapolitan, *Learning Bayesian Network*, Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, 2003.
- [6] Y.-S. Song and S.-B. Cho, "Reasoning occluded objects in indoor environment using Bayesian network for robot effective service," *Journal of Korea Information Science Society: Computing Practices*, vol. 12, no. 1, pp. 56-65, 2006.
- [7] S.-H. Lee, J.-H. Hong and S.-B. Cho, "Inference of baby's situation based on Bayesian network for service provision by childcare robot," *In Proc. KCC*, vol. 36, no. 1, pp. 424-427, 2009.