

지식 기반 로봇을 위한 인간-로봇 상호작용 온톨로지

신동수*, 장두수**, 최용석†
*한양대학교 컴퓨터소프트웨어학과
**한양대학교 컴퓨터소프트웨어학과
†한양대학교 컴퓨터공학부
e-mail : firstds@naver.com
tim0225@hanyang.ac.kr
cys@hanyang.ac.kr

Human-Robot Interaction Ontology for Knowledge Based Robot

Dong su Shin*, Doo Soo Chang**, Yong Suk Choi†
*Dept. of Computer and Software, Hanyang University
**Dept. of Computer and Software, Hanyang University
†Division of Computer Science and Engineering, Hanyang University

요 약

가정이나 사무실 등과 같은 다양한 현실 세계에서 서비스 로봇이 자율적으로 동작하기 위해서는 복잡한 작업을 수행할 수 있어야만 한다. 다양한 센서 데이터가 있는 서비스 환경에서 고수준의 의미 정보를 이해하는 것은 지식 기반 로봇에게 필수적인 능력 중 하나이다. 본 논문에서는 서비스 로봇에게 다양한 환경에서 주어진 작업을 효과적으로 해결할 수 있도록 저레벨의 센서 데이터와 고레벨의 의미 정보를 통합하는 인간-로봇 상호작용 온톨로지를 소개한다. 지능형 로봇 지식에는 다양한 서비스의 확장성을 위해 사용자, 로봇, 인지, 환경, 행위 5 가지 온톨로지 로 분류한다. 지능형 로봇 지식은 일반 지식 뿐만 아니라 로봇의 수행 능력, 구성요소 등의 전문 지식까지 정의하고 서비스 에이전트 간 상호작용을 위한 인터페이스를 표준화함으로써 지능형 로봇에 적합한 지능을 제공한다. Turtlebot2 을 이용한 실험을 통해 온톨로지 기반의 통합 로봇 지식의 높은 효율성을 확인 할 수 있었다.

키워드 : 개인화 로봇 서비스; 지능형 로봇 지식; 로봇 온톨로지; 지식 서비스;

1

1. 서론

일상생활 속에서 사람과 함께 생활하면서 사람을 위해 다양한 서비스를 제공하는 로봇을 일반적으로 서비스 로봇(service robot)이라 부른다. 서비스 로봇은 주어진 작업을 효율적으로 수행하기 위해 실제 환경에 대한 저레벨의 센서 데이터도 뿐만 아니라, 고레벨의 의미 정보도 관리 할 수 있어야 한다. 서비스 로봇의 경우 저레벨의 센서 데이터에 대한 정보를 다른 고레벨의 정보와 서로 연관시킬 수 있는 것이 중요하다. 이러한 모든 지식들은 서비스 로봇이 사용하는 로봇 지식에 통합되어야 하며, 지식들은 서로 연관성을 나타내기 위해 각각의 개념들간의 의미론적 관계(semantic relation)를 정의해야 한다. 또한 다양한 서비스를 수행을 위해 지식 확장이 가능해야 하며,

개인화 서비스를 위해 서비스 로봇은 사용자와 상호작용을 해야 하므로, 사용자에게 대한 정보를 알고 있어야 한다. 즉 로봇 지식 내부에 사용자에게 대한 정보를 정의해야 한다.

본 논문에서는 지식 로봇을 위한 인간-로봇 상호작용 온톨로지(ontology)를 소개한다. 지능형 로봇 지식에는 전문 지식(Domain Knowledge)과 일반 지식(General Knowledge)을 포함한다. 전문 지식에는 사용자, 로봇, 로봇의 행위 및 서비스 환경 등의 개념을 정의하고 있으며, 일반 지식에는 시공간적 개념 등 일반적인 지식을 정의한다. 이러한 개념들은 현실 세계를 표현하기 위해 통합 로봇 지식에 계층적으로 구성하며, 의미론적 관계 (semantic relation)로 연결한다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 구성한다. 기존 로봇 지식 시스템을 2 절에의 관련 연구로 간략히 소개한

* 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 기술혁신산업의 지원을 받아 수행한 연구 과제임 (No. 10060086, 개인 서비스용 로봇을 위한 지능-지식 집약 · 개방 · 진화형 로봇지능 소프트웨어 프레임워크 기술 개발)
** 본 연구는 2017년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임 (No.NRF-2015R1D1A1A01060950).

다. 3 절에서는 지능형 로봇 지식 요소간의 상호작용을 위한 인터페이스를 설명한다. 또한 Turtlebot2 을 이용한 로봇 서비스 실험은 4 에 나타나 있고, 마지막으로 5 절에서는 결론과 향후 연구 계획을 제시한다.

2. 관련 연구

전통적인 심볼 조작 처리(symbol manipulation) 중 하나는 인식, 추론, 행동 세 가지 유형의 모듈로 구성된 Good Old Fashioned AI and Robotic system(GOFAIR)[1]이다. 그러나 GOFAIR 시스템은 실제로 현실 세계에서 서비스 로봇을 동작 시키기에는 부적합한 점이 많다. 이러한 부적절 함을 완화하기 위해 서비스 로봇에 대한 지식을 관리하는 많은 방법들이 있다. Lim GH [2]에서는 Ontology-based Unified Robot Knowledge(OUR-K) 프레임워크를 소개한다. OUR-K 는 5 개의 주요 지식: contexts, objects, spaces, actions, feature 으로 구성한다. 그러나 이 프레임워크는 로봇 자체에 대한 개념과 인간-로봇 상호 작용의 대한 내용이 부족하다. Tenorth 와 Beetz [3]는 프롤로그(Prolog) 기반의 지식 처리 프레임워크인 KNOWROB 을 개발했다. KNOWROB 의 지식 저장소는 OWL 온톨로지를 사용한다. KNOWROB 은 시공간적 개념과 로봇 자체에 대한 개념을 정의하고 있으며, 객체 사이의 공간적 관계를 잘 설명하고 있다. 그러나 KNOWROB 은 서비스 에이전트로써 개인화 된 서비스에 적용되기엔 사용자 관련 지식 결여 문제로 한계점을 가진다.

3. 로봇 지식

A. 로봇 지식 온톨로지

온톨로지(ontology)는 표현이 쉽고, 지식 개념을 의미적으로 연결하기 용이하며, 높은 확장성을 가지고 있으므로 로봇 지식은 온톨로지 기반으로 구성한다[4]. 인간-로봇 상호작용 온톨로지는 개인화 서비스를 위한 로봇과 사용자 및 환경 데이터를 정의했을 뿐만 아니라, 각 요소간의 의미론적 관계(semantic relations)도 정의한다. 지능형 로봇 지식의 규모는 로봇의 지각과 행동에 대한 낮은 수준의 지식에서부터 공간, 시간, 대상 및 사용자 정보에 이르기까지 다양하다. 인간-로봇 상호작용 온톨로지의 주요 개념은 그림 1 에 나타난다. 로봇 지식은 서비스 의존적인 면을 피하고, 확장성을 높이기 위해 사용자, 로봇, 인지, 환경, 행위로 5 가지 세분화 된 온톨로지로 분류한다.

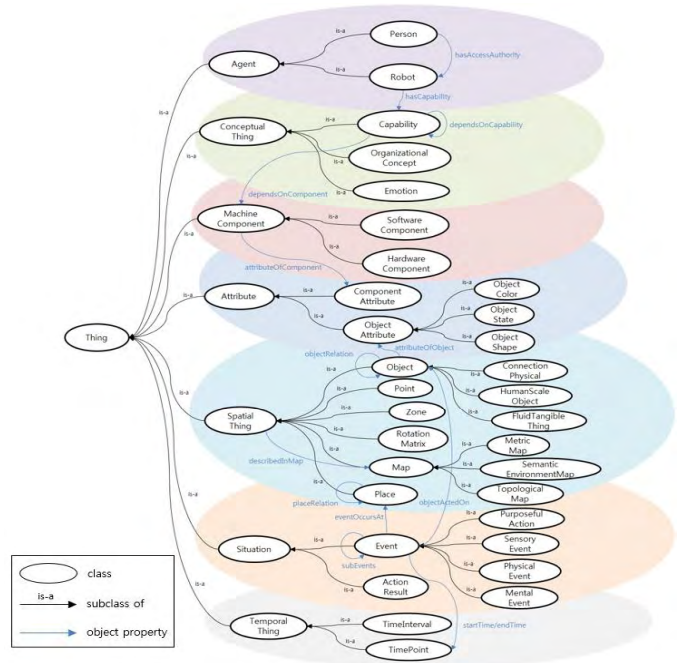
1) 사용자 온톨로지

서비스의 대상인 사용자에 대한 정보를 구체화하여 사용자 온톨로지에 정의한다. 사용자 온톨로지에는 사용자의 프로필인 이름, 성별, 소속 뿐만 아니라 사용자의 상황 정보(근무 장소, 일정, 감정 상태 등)에 대한 개념을 정의한다. 예를 들어 ‘Person001’이라는 사용자가 ‘Office001’에서 근무한다면 트리플(triples) 구조로 표현한다면 “(Person001 workPlace Office001)”이

다. 또한 로봇에 대한 접근 권한은 관리자 권한과 손님 권한으로 나누어 표현한다.

2) 로봇 온톨로지

로봇 온톨로지는 개인화 서비스 수행의 주체인 로봇과 관련된 정보를 정의한 온톨로지이다. 로봇 온톨로지에는 여러 종류의 서비스 로봇(type)을 표현하고, 각 로봇은 서로 다른 수행 능력(Capability)과 이에 대한 로봇 구성 요소(Component)로 표현한다. 예를 들어 서비스 내에 로봇이 다른 위치로 이동하는 작업을 수행해야 하는 경우 서비스 로봇은 탐색과 이동의 기능이 있어야 하며, 하드웨어나 소프트웨어와 같은 구성 요소(component)가 실행되어야 한다. 즉 로봇의 작업 수행 가능 여부를 판단하기 위해선 수행 능력(capability)와 구성 요소(component)를 확인해야 한다. 로봇 온톨로지에서는 ‘Robot’ 정의역 클래스(domain class)와 ‘Capability’ 치역 클래스(range class)사이 ‘hasCapability’ 속성(property)을 정의하고, ‘Capability’ 정의역 클래스(domain class)와 ‘Component’ 치역 클래스 사이에는 ‘dependsOnComponent’ 속성을 정의한다.



<그림 1> 인간-로봇 상호작용 온톨로지의 주요 개념

3) 인지 온톨로지

인지 온톨로지는 로봇이 서비스 환경에서 시각적으로 인지 할 수 있는 다양한 종류의 물체와 물체 속성에 대한 개념을 정의한다. 인지 온톨로지는 물체의 경계와 접합 부분에서부터 용기, 가구 등 인간 척도의 물체에 이르기까지 다양하다. 또한 물체에 대한 색상, 형태, 기능적 상태 등 물체의 속성을 서술하며, 물체의 이동성(정적 또는 동적), on/off 상태, 열림/닫힘 상태 등 물체의 상태도 정의한다. 지능형 로봇은 물체 간의 공간적 관계를 추론할 수 하여 복잡한 작업을 수행하거나 사용자에게 올바른

정보를 제공할 수 있어야 한다. 따라서 ‘on’, ‘under’, ‘inFrontOf’, ‘behindOf’, ‘connecte dTo’ 등과 같이 공간적 관계에 대한 속성을 정의한다.

4) 환경 온톨로지

환경 온톨로지는 로봇이 서비스를 수행하는 환경에 대한 지식 정보 요소를 정의한다. 서비스 환경에서의 공간적 요소, 좌표 정보를 포함하는 지도 정보, 환경 내 시간적 개념 등을 포함한다. 공간적 요소는 로봇이 인식할 수 없는 공간적 개념으로 큰 개념으로는 건물과 같은 구조물, 작은 개념으로는 구조물 내 방과 복도까지 정의한다. 지도 정보는 지능형 서비스 로봇이 다른 위치로 이동하거나 공간적인 관계에 대해 이해하는데 있어 중요하다. 지도 정보 내에서 맵은 메트릭(metric) 맵, 토폴로지컬(topological) 맵, 시멘틱(semantic) 맵 세 가지로 구성한다. 메트릭 맵은 서비스 로봇이 탐색하는 낮은 수준의 맵이며, 이동 가능한 공간과 이동 불가능한 공간으로 나누어 이루어진다. 토폴로지컬 맵은 서비스 로봇이 이동 경로로 사용할 수 있는 토폴로지컬 포인트를 포함한다. 시멘틱 맵은 객체들 간의 관계와 객체와 장소에 대한 관계를 정의한다. 예를 들어 서비스 환경에서 ‘Table001’ 이란 테이블 인스턴스가 ‘Room001’ 이란 방 인스턴스 안에 위치되어 있을 경우 “(Table001 locatedIn Room001)” 으로 시멘틱 맵에 표현한다.

5) 행위 온톨로지

행위 온톨로지는 개인화 서비스 수행을 위한 로봇의 행위에 대한 온톨로지이다. 로봇의 행위는 실질적인 일련의 동작이자 하나의 상황적 사건으로써 정의한다. 구체적으로 육체적 행위는 로봇의 공간적 이동, 물체를 쥐거나 옮기는 동작들을 말하고, 정신적 행위는 지식을 활용하여 논리적 추론이나 물체 인식 등 인식적 행위를 의미한다. 각 행위는 다수의 부수적 행위, 행위의 주체, 행위의 대상, 발생 장소, 행위 시작/끝에 대한 시간 정보를 포함한다.

B. 지식 서비스 인터페이스

지식 자원을 타 에이전트와 유연하게 공유하는 것은 개인화 된 로봇 서비스에서 중요한 문제 중 하나다. 따라서 데이터 관리의 기본적인 기능인 CRUD(Create, Retrieve, Update, Delete)[5] 네 가지 기능이 가능한 지식 서비스 인터페이스를 구현한다. 표 1은 인간-로봇 상호작용 온톨로지의 클래스, 프로퍼티, 인스턴스에 대한 CRUD 연산을 위한 프로토콜 규격을 보인다. 또한 온톨로지의 모든 연산은 SPARQL 에 기반한 질의문으로 제공한다.

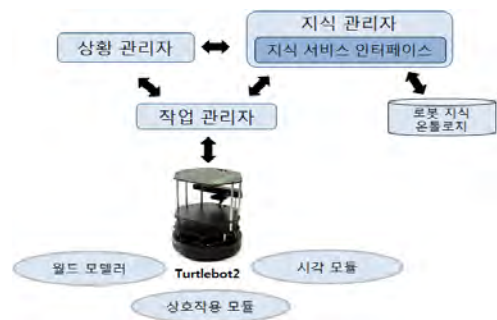
| Type | Protocol specification | 설명 |
|----------|--|---|
| Create | createClass(\$Ontology, \$Class) | 새로운 class 생성 |
| | createProperty(\$Class1, \$Property, \$Class2[\$Datatype]) | 새로운 object property 또는 datatype property 생성 |
| | createInstance(\$Class, \$Instance) | 해당 class에 새로운 instance 생성 |
| Retrieve | queryProperty(\$Instance, ?Property, \$Instance[\$DatatypeValue]) | Instance와 Instance1 또는 value값 사이의 Property 반환 |
| | queryIndividualOf(\$Class/ \$Instance, \$Property, ?Instance[\$DatatypeValue]) | Class 또는 Instance에 Property로 연결된 값을 반환 |
| Update | setRelation(\$Instance1, \$Property, \$Instance2) | Instance들의 관계 생성 |
| Delete | deleteRelation(\$Instance1, \$Property, \$Instance2) | Instance들의 관계 삭제 |
| CRUD | querySparql(\$SparqlQuery) | 지식 서비스에 대한 쿼리 요청 (SPARQL 기반) |

<표 1> 지식 서비스 프로토콜

4. 실험

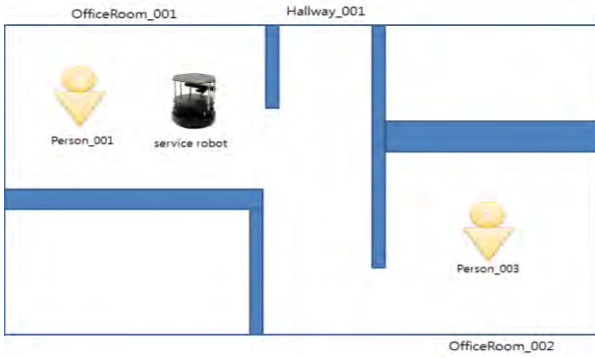
A. 실험 구성

서비스 로봇으로는 Turtlebot2 가 사용되며, 그림 2는 전체 시스템의 구성을 보인다. 월드 모델러(World Modeler)는 서비스 환경의 메트릭 맵을 만들고, 서비스 환경 내에서 로봇이 자신의 위치를 파악하는데 사용한다. 토폴로지컬 및 시멘틱 맵의 인스턴스는 수동으로 생성하여 온톨로지에 저장한다. 상호작용 모듈은 로봇과 사용자의 대화 내용을 생성하는데 사용한다. 작업관리자는 목표(goal) 생성, 작업 계획(task planning) 및 선택을 수행하기 위해 belief, desire, intention (BDI) 에이전트[6]로 배포한다. 상황관리자는 물체간 공간적 관계 또는 시간 관계와 같은 고차원적인 추론을 수행하기 위한 상황 추론기로서 배포한다. 로봇 지식을 관리하고 제공하는 지식관리자는 로봇 온톨로지 스키마를 정의하고, 온톨로지 인스턴스 저장소에 대한 적절한 SPARQL 쿼리를 작성하여 타 에이전트의 로봇 지식 관한 CRUD 요청을 처리한다. 인간-로봇 상호작용 온톨로지의 규모는 약 2 만개의 트리플(클래스:987 개 속성:454 개 인스턴스:74 개) 구조를 이룬다.

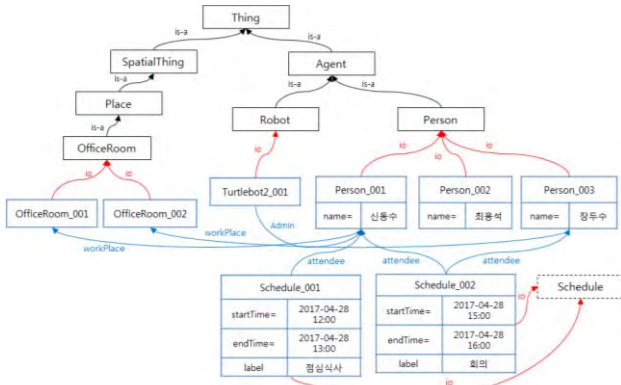


<그림 2> 실험 시스템 구성도

이 실험 시나리오는 서비스 로봇이 사용자 외 회의 참석자에게 일정을 알리고, 사용자의 일정을 추가한다. 그림 3은 실험 내 서비스 환경 맵을 보이고, 그림 4는 실험 시나리오에서 사람, 로봇, 장소 및 일정한 의미론적 관계(semantic relation)를 보인다.



<그림 3> 실험 환경 지도



<그림 4> 실험 내 의미론적 관계도(semantic relation)

B. 실험 결과

실험에서 로봇은 작업을 수행하는데 필요한 모든 능력(capability)과 구성 요소(component)를 갖추고 있다고 가정한다. 실험에 대한 시나리오는 그림 4 에 나타난다.

- 사용자** : 로봇! 점심시간 이후 일정이 뭐지? (1)
Turtlebot2: 점심시간 이후 일정은 회의입니다.
사용자 : 회의 후 저녁식사 일정 추가해줘. (2)
Turtlebot2: 저녁식사 일정이 추가되었습니다.
사용자 : 회의 참석자가 누구지? (3)
Turtlebot2: 회의 참석자는 신동수, 장두수입니다.
사용자 : 장두수에게 회의 일정 공지해줘. (4)
Turtlebot2: 알겠습니다. (장두수에게 회의 일정 공지)

<그림 5> 실험 시나리오

그림 5 에 상황 (1)에서는 작업 관리자가 점심시간 이후 일정 추론을 상황 관리자에게 요청하면 상황 관리자가 사용자 “신동수”에 대한 일정 정보를 지식 관리자에게 요청한다. 지식 관리자는 “신동수”와 일정으로 SPARQL 로 온톨로지로부터 적합한 자료를 검색하여 상황 관리자로 반환한다. 그 후 상황 관리자는 일정 정보를 가지고 점심시간 이후 일정을 추론한 후 작업 관리자에게 반환한다. 작업 관리자는 로봇에이전트로 사용자에게 응답하는데 필요한 모든 정보를 보내고, 로봇에이전트는 상호작용 모듈을 통해 사용자에게 발화하게 된다. 상황 (2)의 경우, 작업 관리자에서 사용

자 일정정보 갱신을 요청하게 되면, 지식 관리자에서는 “회의”와 “이후”를 활용하여 “회의 이후”의 의미를 추론하고, 인터페이스를 사용하여 “저녁 식사” 일정을 추가한 뒤 갱신 완료를 작업 관리자에게 전달한다. 상황 (2)가 끝나면 로봇 온톨로지에는 “저녁 식사”라는 새로운 인스턴스를 생성한다. 상황 (3)은 작업 관리자에서 회의 참석자 명단 정보를 요청하고 지식 관리자에서는 상황 (1)과 같은 방법으로 적합한 자료를 찾아 작업 관리자에게 반환한다. 상황 (4)에서는 로봇이 “장두수”에게로 이동해야 하므로, 지식 관리자는 시멘틱 맵에서 “장두수”에 관한 정보를 추론하여 “장두수”의 근무 장소가 “OfficeRoom_002”임을 알 수 있다. 그 후 토폴로지컬 맵의 포인트를 통해 이동 경로를 구축한다. 로봇이 타겟 사용자에게 도착하면, 회의 일정 알림에 필요한 정보를 제공한다.

5. 결론

최근 인공지능 기술이 크게 발전함에 따라 관심 많아지고, 그에 따라서 지능형 로봇에 대한 요구가 높아지고 있다. 현실 세계에서 복잡한 작업을 수행하는 것은 로봇에게 어려움이 될 수 있다. 서비스 로봇은 낮은 수준에 센서 데이터 뿐만 아니라, 서비스 환경에 대한 높은 수준에 의미 데이터도 필요하다. 본 논문에서는 지식 기반 로봇을 위한 인간-로봇 사용작용 온톨로지를 소개했다. 지능형 로봇 지식은 사용자, 로봇, 서비스 환경, 물체 인지 그리고 로봇 행위에 대한 온톨로지에 기반한 지식을 정의한다. 또한 온톨로지의 확장성을 이용하여 다양한 서비스에 대한 로봇 지식의 재사용성을 보였다. 실험을 통해 로봇 지식을 활용한 로봇이 사무 환경 내에서 서비스가 가능함을 확인할 수 있었다. 향후 과제로는 다양한 복합적인 환경에서 서비스를 수행할 수 있도록 온톨로지를 확장하여 구축하는 것이며, 로봇의 대화를 쉽게 관리할 수 있도록 로봇 지식 내에 상호작용 모델을 정의할 계획이다.

참고문헌

[1] A. K. Mackworth, “On seeing robots,” in Computer Vision: Systems, Theory, and Applications, A. Basu and X. Li, Eds. Singapore: World Scientific, pp. 261–268, 1993.
 [2] Lim GH, Suh IH, Suh H, “Ontology-based unified robot knowledge for service robots in indoor environments”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans 41: 492–509, 2011.
 [3] M. Tenorth and M. Beetz, “KNOWROB - knowledge processing for autonomous personal robots,” in IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems., 2009.
 [4] T. Gruber, What is an Ontology, 2001. [Online]. Available: <http://www.ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>.
 [5] H. Kilov, "From semantic to object-oriented data modeling", Proceedings of the First International Conference on Systems Integration, pp. 385-393, 1990.
 [6] M Huber, “JAM: A BDI-theoretic mobile agent,” in Proc. 3rd Int. Conf. Agents, Seattle, WA, 1999, pp. 236–243.