

자율적인 로봇 지능을 위한 로봇 데이터 관리 프레임워크¹

주진웅¹, 이동훈¹, 김학수¹, 서일홍², 손진현¹

¹한양대학교 컴퓨터공학과

²한양대학교 정보통신대학

e-mail : {jinung,dhlee}@database.hanyang.ac.kr, {hsookim,ihsuh,jhson}@hanyang.ac.kr

Robot Data Management Framework for an Autonomous Robot Brain

Jinung Joo¹, Donghoon Lee¹, Hak Soo Kim¹, Il Hong Suh², Jin Hyun Son¹

¹Department of Computer Science and Engineering, Hanyang University in Ansan

²College of Information and Communications, Hanyang University in Seoul

요 약

최근 자율 로봇을 지원하는 로봇의 지식 체계를 확립하기 위해 온톨로지 기술이 많이 사용되고 있다. 즉, 온톨로지를 통한 로봇의 지식 체계에 대한 데이터베이스 스키마를 설계하고 이에 따른 추론 시스템을 개발하는 연구가 활발히 진행되고 있는 시점이다. 이러한 관점에서, 본 논문은 독거 노인을 보조하는 실용적인 SilverMate 로봇분야와 같은 로봇의 지능적인 서비스를 요구하는 분야에서 로봇의 지식 체계 프레임워크를 제공하는데 초점을 두고 있다. 제안하는 지식 체계는 로봇의 자전적 기억을 중심으로 자전적 기억을 기술하기 위한 5W1H 모델을 제안하고 의미적 상관관계를 기술하기 위해 의미기억 모델로서 SCOT-SN 모델, 절차적 기억 모델로서 TES 모델을 정의한다.

1. 서론

오늘날 자율 로봇은 스스로 생각하고 행동하는 지능적인 서비스를 인간에게 제공하는 것으로서 이를 위한 수많은 기술들이 연구되고 있는 실정이다. 이러한 연구 분야 중에서 로봇의 지식 체계를 확립하기 위해 온톨로지 기술이 많이 사용되고 있다. 즉, 온톨로지를 통한 로봇의 지식 체계에 대한 스키마를 설계하고 추론 시스템을 개발하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

최근에 로봇의 지식 체계를 구축하기 위해 RDF/S 기반의 OWL 온톨로지가 널리 이용되고 있다. OWL은 웹 페이지, 이미지, 동영상 등의 웹 자원을 기술하기 위한 언어로 개발되었지만 오늘날 다양한 분야에서 온톨로지를 기술하기 위한 언어로서 이용되고 있는 상황이다. 이러한 온톨로지를 이용하여 본 논문은 독거 노인을 보조하는 실용적인 SilverMate 로봇, 교육용 로봇(Teaching Robot), 엔터테인먼트 로봇(Entertainment Robot) 등과 같은 로봇의 지능적인 서비스를 요구하는 분야에서 로봇의 지식 체계 프레임워크를 제공하는데 초점을 둔다. 이러한 지식 체계 프레임워크 설계의 시작점은 인간의 기억 메모리 분석을 통해 로봇이 가져야 되는 로봇의 기억 메모리를 정의하는데 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존에 연구되어온 지식 체계의 문제점을 분석하고 3장에서는

이를 해결하기 위한 지식 체계 프레임워크를 제안한다.

2. 문제 분석 및 동기 부여

인간의 지능은 논리적인 추론, 정보 분석, 예측 등과 같은 능력으로 볼 수 있으며 이러한 지능의 밑바탕은 기억 메모리에 있다. 인지 과학분야에서 인간의 기억 메모리는 감각 기억(Sensory memory), 단기 기억(Short-term Memory) 또는 작업 기억(Working Memory), 장기 기억(Long-term Memory)로 분류되며 이와 같은 기억 메모리가 체계적으로 상호 작용하면서 인간의 지능적인 생각 및 행동을 유발시키는 원인이 된다. 이러한 기억 메모리를 지식(Knowledge)이라고 표현하며 인간처럼 행동하는 자율 로봇에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

지금까지 연구되고 있는 기존 연구들을 지식 체계의 특징이라는 관점에서 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 로봇의 지식을 단순한 정보로 취급하여 파일 형태 또는 관계형 데이터베이스에 저장하는 경우이다. [1]은 전신주의 전선을 움직이면서 전선을 유지 보수하는 로봇에서의 태스크 지식(Task Knowledge), 비전 데이터(Vision Data), 조작 데이터(Manipulation Data)를 태스크 지식 데이터베이스에 단순히 저장하여 태스크 플래너(Task Planner), 암 컨트롤러(Arm Controller)가 이용할 수 있도록 한다. [2]는 HRI 로봇환경에서 효율적

¹ 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R01-2007-000-20135-0). 이 논문은 MKE/IITA의 IT R&D 프로그램의 지원을 받아 수행된 연구임 (2008-F-038-01, 상황 적응 로봇 인지 기술개발).

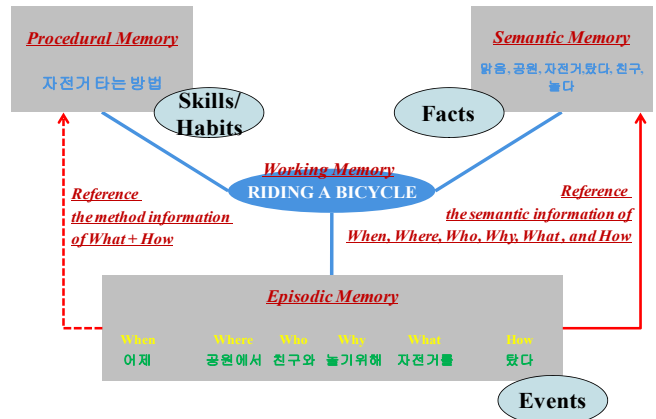
인 학습 시스템 기법을 제공하기 위한 학습 프로세스 기법(Learning Process Mechanism)을 제안하였다. 이 논문은 효율적인 학습을 위해서 메모리 하부 아키텍처(Memory Subsystem Architecture)를 제안하였다. 제안한 아키텍처는 사람의 기억 메모리의 가장 단순한 형태인 단기 기억, 장기 기억과 비슷하게 DM(Data Memory)를 위한 “Short term memory function”, SM(Set Memory)를 위한 “Middle term memory function”, NM(Name Memory)를 위한 “Long term memory function”와 같은 기억 체계를 두고 있다. 하지만 이들 사이의 분류는 정보의 기억 시간으로만 구분을 하며 단순 저장소의 역할만을 담당하는 한계점이 있다. 두 번째 분류로는 로봇의 지식을 체계적으로 기술하기 위해 논리(Logic) 언어를 사용하여 모델링하는 경우이다. FL(Frame Logic)을 사용한 [3], DL(Description Logic)을 사용한 [4], OWL 을 사용한 [5] 논문들이 이 분류에 해당된다. 논리 언어를 이용한 지식 모델링의 장점은 로봇의 지능적인 서비스 제공의 밑바탕인 추론 기능을 지원할 수 있다. [6]은 논리 언어를 사용하지 않았지만 지식 기반의 로봇 제어를 위한 추론 모듈(Reasoning Module)을 지원하기 위해 “Situation”, “Rule base”, “Action description”, “Case base”을 모델링하였다.

하지만 기존 연구들은 인간의 정신적 활동(Mental Activity)을 고려하지 않은 지식 체계에 머무르고 있기 때문에 그 한계를 드러내고 있다. 다시 말해서, 인간의 지능에서 핵심이 되는 지식 체계 중에 하나인 자전적 기억(인간이 생활하면서 경험했던 사실들)을 기술하는 체계를 전혀 고려하지 않고 있다. 자전적 기억은 인간이 예측, 학습, 정보 분석등과 같은 고차원 능력의 기반이 되기 때문에 로봇에서의 자전적 기억의 유지 관리는 로봇이 상위 수준의 지능적 서비스를 제공하기 위한 밑바탕이 될 수 있다.

3. 로봇 지식 체계 프레임워크

일반적으로 가장 중요하게 인식되고 있는 장기 기억은 의미 기억(Semantic Memory), 자전적 기억(Episodic Memory), 절차적 기억(Procedural Memory) 메모리이다. 장기 기억의 지식 저장 및 질의를 담당하는 작업 기억과 외부의 센서로부터 들어오는 정보를 일시적으로 저장하는 감각 기억에 초점을 둔다. 본 논문은 이들 기억 사이의 관계를 정의하고 로봇의 자전적 기억을 설계하기 위해 인간의 기억 체계와 유사한 로봇의 기억 체계를 제안한다.

그림 1 는 기억 사이의 관계성을 추상적으로 설명하는 예제이다. 작업 기억에 “자전거를 타다”를 인지하게 되면 정보의 의미 참조를 위해서 세 개의 기억과 의미 참조 연관성을 맺게 된다. 즉, 의미적 분석을 위해 객관적인 지식을 저장하고 있는 의미 기억을 참조하여 “타다”, “자전거”와 같은 의미를 참조한다. 이때 포함된 단어의 의미뿐만 아니라 “공원”, “맑음” 등과 같은 관련된 정보들도 참조할 수 있다. 그리고 과거의 기억을 5W1H(When, Where, What, Why, Who, How) 형태로 저장된 자전적 기억과 연관된다. 예를 들어 “어제 공원에서 친구와 놀기 위해 자전거를 탔다”와



(그림 1) 작업, 의미, 자전적, 절차적 기억 사이의 관계

같은 과거 기억을 참조할 수 있다. 또한 절차적 기억으로부터 “자전거 타는 방법”을 참조한다. 이러한 정보는 일반적으로 틀 형태로 표현되며 뒤에서 상세하게 다룰 것이다.

인간의 작업 기억은 감각 기억으로부터 들어오는 정보로부터 장기기억을 검색하여 관련된 정보를 일시적으로 저장하고 정보 분석을 하는 기관이다. 작업 기억에서 다루는 정보는 복잡하기 때문에 로봇이 처리할 수 있는 정보로 제한시키기 위해 본 논문에서는 작업 기억에 저장되는 정보를 정의 1 과 같이 정의한다. 기본적으로 자전적 기억의 밑바탕이 되는 5W1H 정보를 기반으로 한다.

정의 1 (로봇 데이터의 정의): 자전적 기억을 구성하는 정보를 기술하기 위해 시간, 공간, 상황, 객체 정보를 정의한다.

- 시간(Time): 시간 정보로서 yyyy-mm-dd hh:mm:ss.sss 로 밀리초 단위까지 표현된다.
- 공간(Space): 로봇이 이동하는 장소를 나타낸다.
- 상황(Context): 로봇이 현재 수행하고 있는 작업, 사물의 상태, 환경 정보를 나타낸다.
- 객체(Object): 의자, 책상, 소파 등과 같은 물체 정보를 나타낸다.

정의 1 에서 정의한 로봇 데이터를 로봇 지식으로서 저장하기 위해서 본 논문에서는 세 가지 기억으로 분류한다. 이를 위해 객관적인 지식을 저장하는 의미 기억은 SCOT-SN 모델, 과거에 일어났던 기억을 저장하기 위한 자전적 기억은 TES 모델, 를 정보에 대한 지식인 절차적 기억으로 Cb-ARN 모델을 제안한다.

3.1 SCOT-SN 모델

로봇의 자전적 기억을 구성하는 5W1H 의 의미를 참조하기 위해서 객관적인 정보를 저장하는 SCOT-SN(Space, Context, Object and Time in Semantic Network) 모델을 제안한다. SCOT-SN 모델에서는 지식을 그 의미에 따라 4 개의 풀(Pool)로 분류하는데 각각은 공간 풀(Space Pool:SP), 상황 풀(Context Pool:CP), 객체 풀(Object Pool:OP) 그리고 시간 풀(Time Pool:TP)로 분류된다. 각각의 지식 풀에서는 일반적이고 개별적인 지식들의 개념을 정의하고 각 풀간의 의미적 연관성을

정의함으로써 자전적 기억의 근간을 이루는 5W1H 을 기술하는 기반이 된다. 즉, 공간 풀은 Where 정보를 참조하는 집합이 되며 상황 풀은 What, How, Why 를 참조하는 집합이 된다. 그리고 시간 풀은 When 정보를 참조하는 집합이며 객체 풀은 Who 를 포함한 객체들을 참조하는 집합이 된다.

그림 2 는 위에서 설명한 SCOT-SN 모델의 예를 설명한다. 본 논문에서 SCOT-SN 모델은 정의 2 와 같이 정의된다.

정의 2 (SCOT-SN 모델의 정의): SCOT-SN 모델은 상황, 공간, 객체, 시간의 개념에 대한 정의로서 노드와 이들 사이의 관계를 위한 단방향 및 양방향 간선을 가지는 상황 풀, 공간 풀, 객체 풀, 시간 풀에 대한 그래프가 관계성 R_{CS} (Relationship between Context and Space), R_{SO} (Relationship between Space and Object), R_{CT} (Relationship between Context and Time)에 의해 연결된 그래프이다. 즉, 아래와 같이 정의한다.

$$SCOT - SN = G < CP, SP, TP, OP, R_{CS}, R_{SO}, R_{CT} >$$

3.1.1 공간 풀(Space Pool)

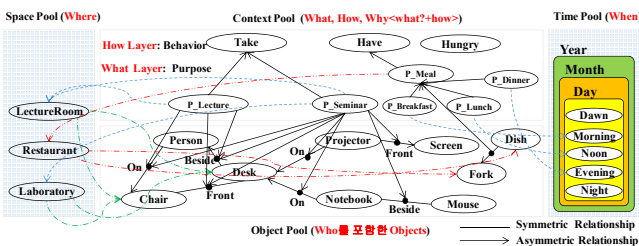
공간 풀은 공간적 의미를 지니는 지식들을 그 요소로 한다. 각 공간요소들은 일반적으로 그 공간의 특징을 나타낼 수 있는 사물들을 포함할 수 있는데(ex:"강의실"에는 "의자", "책상" 등이 있다.), 이러한 연관성들은 객체 풀의 요소들과의 관계성으로 표현된다. 그림 2 에서 보는 것처럼 공간과 객체 사이의 관계는 1:N 으로 연결될 수 있다. 또한, 이와 같은 공간 정보는 실제로 로봇 플랫폼상에서 시맨틱 맵(Semantic Map)과 연계되며 로봇의 위치 인식(Localization)을 위한 공간 정보를 제공해 줄 수 있다. 공간 풀에 대한 정의는 정의 3 과 같다.

정의 3(공간 풀에 대한 정의): 공간 풀은 로봇이 움직일 수 있는 공간을 정의하는 것으로서 공간에 대한 정의로서 노드와 공간 사이의 관계를 나타내는 R_S 를 가지는 그래프이다. 아래와 같이 정의한다.

$$SP = G < Space, R_S >$$

3.1.2 상황 풀(Context Pool)

상황 풀은 상황 지식의 표현을 목적으로 하는 요소들을 지닌다. 이러한 상황 지식들은 어떠한 객체의 상태나 행위들을 묘사하는 것들로서 각각 특정한 행위의 목적을 나타내는 목적 풀(Purpose Pool)과 행위 그 자체를 나타내는 행동 풀(Behavior Pool)로 분류된다. 예를 들면 “Taking Lecture”의 단순한 문장은 현재 “강의 중” 이라는 현재의 상태를 나타낸다. 구문적으로 “Take” + “Lecture”로 구분되며 “Take”는 행동,



(그림 3) SCOT-SN 모델

“Lecture”는 목적에 해당된다. 상황 풀에 대한 정의는 아래와 같다.

정의 4(상황 풀에 대한 정의): 상황 풀은 목적 풀에 해당되는 목적의 정의를 가지는 노드와 행동 풀에 해당되는 행동의 정의를 노드 사이의 단방향 관계성을 가지는 R_{PB} (Relationship between Purpose and Behavior)에 의해 연결된 그래프이다. 즉, 아래와 같이 정의한다.

$$CP = G < Purpose, Behavior, R_{PB} >$$

3.1.3 객체 풀(Object Pool)

구체적인 형태를 지니는 사물들, 즉 객체들을 기술하는 요소의 집합으로써 객체 풀을 정의한다. 어떤 상황을 인지하기 위한 가장 중요한 정보는 카메라에 의해 추출된 객체들 사이의 공간 관계(Spatio-Relationship) 정보라고 볼 수 있기 때문에 객체와 상황 사이를 연결하는 정보로 이용된다. 예를 들면, 상황 풀안에 목적 풀의 하나인 “Lecture”라는 상황의 목적이 이루어지기 위해서는 on(Projector, Desk), beside(Person, Desk), front(Chair, Desk)와 같이 객체들 사이의 공간적 관계가 이루어져 있어야만 한다.

정의 5(객체 풀에 대한 정의): 객체 풀은 객체에 대한 정의를 가지는 노드와 객체와 객체 사이의 공간 관계정보인 SR_O (Spatio-Relationship between Objects)를 간선으로 가지는 그래프이다. 즉, 아래와 같이 정의한다.

$$OP = G < Object, SR_O >$$

3.1.4 시간 풀(Time Pool)

시간에 관련된 지식은 시간 풀의 요소들로 기술한다. 각 요소들은 각각 특정 시각을 나타내는 요소들(ex:"Monday", "Evening")과 일정한 기간을 나타내는 요소들(ex:"Three Hours", "One Day"), 그리고 현재를 기준으로 한 특정한 때를 나타내는 요소들(ex:"Today", "Before")으로 나뉘어진다. 시간 풀의 요소들 또한 상황 풀의 요소들과의 관계성으로써 기술된다. 예를 들면 Breakfast 는 일반적으로 아침에 이루어 지는 상황이기 때문에 시간 요소인 Morning 과 연결된다. 이러한 시간에 대한 정의는 W3C 에서 정의한 시간 온톨로지 [7]를 이용한다.

3.2 TES 모델

일반적으로 인간의 자전적 기억을 구성하는 요소는 오감에 의한 감각적 기억을 기반으로 복잡한 구조를 가지고 있다. 이러한 정보를 로봇에서의 자전적 기억으로의 모델링은 불가능에 가깝다. 따라서, 정의 1 에서 정의한 로봇 데이터를 기반으로 자전적 기억을

When	Where	Who	Why	What	How	Instance Knowledge
START TIME						
END TIME						
2008-06-29 14:00:12	Laboratory	Professor	Present	Seminar	Take	Desk (color,brown) (height,100cm) (width,120cm) on(Notebook,Desk) front(Projector,Screen)
2008-06-29 18:00:12						Chair
2008-06-30 10:00:12	LivingRoom	Mother	Hunger	Meal	Have	Notebook
2008-07-01 15:00:00						Projector
2008-09-04 10:00:00	LectureRoom	Student	Teach	Lecture	Take	Desk (color,brown) (height,100cm) (width,60cm)
2008-09-04 13:00:00						Chair

(그림 2) TES 모델

5W1H 에 기반으로 한 TES(Temporal Episodic Structure) 모델로 표현한다.

정의 6(TES 모델의 정의): TES 모델은 로봇의 과거 기억을 5W1H 형태로 저장하는 것으로 상황의 시작과 종료를 단일 기억으로 가지면서 그 시간 동안에 인지한 Instance Knowledge(IK)를 저장하는 5W1H 리스트이다. 즉, 아래와 같이 정의된다.

TES = LIST < When, Where, What, Why, Who, How, IK >

TES 모델의 각 구성요소들의 모든 값들은 5W1H 를 기반으로 하게 되며 하나의 자전적 기억은 When 에 의해 구분된다. When 에 해당되는 시간은 특정 상황(What,How)의 시작과 종료를 의미한다. 이를 기준으로 공간 정보인 Where, 주체 또는 대상인 Who, 원인 정보인 Why 가 추가된다. 마지막으로 특정 상황에서 로봇이 인지한 객체 정보를 자전적 기억으로 저장하기 위해 IK 를 요구한다. 이러한 TES 모델의 전체적인 구성 예제는 그림 3 에서 보는 것과 같다.

그림 3 에서 보는 것처럼 “To present, Professor took Seminar at Laboratory”에 대한 기억에 대해서 상황 정보는 (Seminar,Take)가 되고 이러한 상황의 시작과 끝을 나타내기 위해 When 의 “STARTTIME”과 “ENDTIME”이 같이 저장된다. 그리고 다른 정보인 Where(Laboratory), Who(Professor), Why(Present)가 저장된다. 마지막으로 (Seminar,Take)중에 로봇이 인지한 객체에 대한 정보가 저장된다. 예를 들면 Desk, Chair, Notebook, Projector 가 인지 되었으면 “Instance Knowledge”에 객체의 이름과 객체의 세부 특성들이 저장된다. 인지된 Desk 의 세부특성은 색깔 정보를 나타내기 위한 (color, brown), 높이 정보를 위한 (height, 100cm)등과 같은 세부 특징 정보가 기술된다. 세부 특징 정보는 객체 모델링의 상세 정도에 따라 다양하게 바뀔 수 있기 때문에 본 논문에서는 특정 정보 기술에 대한 내용은 다루지 않는다.

3.3 Cb-ARN 모델 (Context-based Action Rule Network Model)

로봇에서의 상황(What?+How)에 대한 “method information”은 특정상황에서 문제해결을 위한 수단으로 정의할 수 있다. 이때 문제해결의 수단은 액션/태스크 룰에 대한 정의를 통해서 최적의 룰들을 선택하고 일련의 시퀀스를 부여함으로써 문제를 해결할 수 있다. 본 논문에서는 기존의 룰들이 지식 정보와의 연결관계가 미약한 단점을 해결하기 위해 FactsSemantic 및 EventsEpisodic 와의 연계를 통해서, 지능적 행동을 위한 룰정보를 체계적으로 관리함으로써 태스크 플래너(Task Planner)가 상황에 따른 최적의 작업을 수행하도록 지원하는데 초점을 둔다.

이러한 관점에서 본 논문에서 제안하는 Cb-AR (Context-based Action Rule)은 특정 상황에 대한 방법 지식 (method information)을 기술하기 위한 모델이다. SkillsProcedure 에 저장되는 룰은 상황과 액션(Action)의 쌍으로 기술된다.

정의 6(Context-based Action Rule): 상황 정보는 What 인 목적(Purpose)와 How 인 행동(Behavior)의 쌍으로 기술되기 때문에 C=<Purpose,Behavior> or <Behavior>로 정의할 수 있다. 이때 Cb-AR 은 “IF Context THEN Actions”로 표현된다.

정의 6 에 의해서 하나의 룰은 특정 상황을 만족할 경우에 수행되어야 하는 액션의 리스트로 정의된다. 예를 들면, “IF <Balance,Lose> THEN { turn(Handle), stop()}”일 경우에 “균형을 잃다”에 대한 상황에 대해서 균형을 잡기 위해 핸들을 돌리고 멈추어야 되는 액션을 기술할 수 있다. 로봇에서의 액션은 로봇 플랫폼에 종속적이기 때문에 본 논문에서는 다루지 않는다.

4. 결론 및 향후 계획

지금까지 인간의 정신적 활동에 참여하는 지식 체계를 로봇에 적용하기 위한 의미 기억을 위한 SCOT-SN 모델, 자전적 기억을 위한 TES 모델, 절차적 기억을 위한 Cb-ARN 모델을 알아보았다. 각 모델은 서로 의미적 연관성으로 묶여 있으며, 로봇의 외부 컴포넌트에 관련된 지식을 제공함으로써 로봇이 지능적인 행동을 지원할 수 있도록 지원한다.

향후 계획으로는 실제 로봇 환경에서 실험을 통해서 지능적인 행동의 정도에 대해서 분석할 것이다. 또한 이러한 지식을 사용하기 위해서는 추론 엔진과 같은 외부 모듈의 설계가 필요하기 때문에 이를 이용하는 추론 기법에 대한 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

- [1] Yingxin He and Kyouichi Tatsuno, "An Example of Open Robot Controller Architecture - for Power Distribution Line Maintenance Robot System", *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 29, pp. 266-271, 2008.
- [2] Z. Zenn Bien and Hyong-Euk Lee, "Effective Learning System Techniques for Human-robot Interaction in Service Environment", *Knowledge-Based Systems*, vol. 20, no. 5, pp. 439-456, 2007.
- [3] Tao Zhang and Haruki Ueno, "Knowledge Model-based Adaptive Intelligent Control of Robots for a Symbiotic Human-robot System", vol. 1, no. 1, pp. 64-83, 2007.
- [4] Abdelbaki Bouguerra, "Robust Execution of Robot Task-Plans: A Knowledge-based Approach", *PhD thesis, Department of Technology, Orebro University*, 2008.
- [5] Chung-Seong Hong, Hyung-Sun Kim, Joonmyun Cho, and Hyun-Chan Lee, "Context Modeling and Reasoning Approach in Context-Aware Middleware for URC System", *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 26, pp. 129-133, 2007.
- [6] Agris Nikitenko, "Knowledge-Based Robot Control", vol. 15, no. 1, pp. 126-137, 2007.
- [7] Jerry R. Hobbs and Feng Pan. (2006) Time Ontology in OWL. [Online]. <http://www.w3.org/TR/2006/WD-owl-time-20060927/>