한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집 제18권 제2호 (2010. 7)

서비스 태스크를 위한 5W1H를 이용한 시멘틱 로봇 메모리 저장소*

이동훈°, 김학수*, 손진현*
°*한양대학교 컴퓨터공학과
e-mail:{dhlee401, hsookim, jhson}@hanyang.ac.kr

Semantic Robot Memory Store using 5W1H for Service Tasks

Donghoon Lee°, Hak Soo Kim*, Jin Hyun Son*
°*Dept. of Computer Science and Engineering, Hanyang University

● 요 약 ●

오늘날 많은 연구자들은 자율적 인간형 로봇 (Autonomous symbiotic human-robot)을 보조하기 위한 지식체계로 온톨로지의 개념을 사용한다. 이러한 연구는 룰 기반의 추론시스템을 지원하기 위해 온톨로지를 저장하는 데이터베이스 스키마를 설계하는 데 초점을 맞추고 있다. 이러한 연구 뿐만 아니라 온톨로지 개념을 사용하는 가장 중요한 목적 중에 하나는 상황 추론이다. 이러한 관점에서 본 논문은 로봇이라는 환경에서 좀 더 지능적인 상황 추론 서비스를 제공하기 위해, 5W1H 기반의 로봇 지능 저장소라 불리는 로봇 메모리 저장소를 설계하는데 초점을 두고 있다. 기존 연구는 체계적이고 의미론적 5W1H를 고려하지 않거나 5W1H와 다른 개념 사이의 연광성의 결여에 많은 문제점을 가지고 있으며 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 상황, 목적, 공간, 특징, 인간 그리고 5W1H의 온톨로지 지식을 저장할 수 있는 개념적인 모델인 로봇 메모리 모델을 설계한다. 또한 본 논문에서는 상황 추론을 지원하기 위해 로봇의 인스턴스 정보라고 불리는 자전적 기억 (Episodic Memory)를 효과적으로 저장하기 위한 5W1H 모델을 정의하며 이러한 모델을 물리적으로 저장하기 위한 관계형 데이터베이스 기반의 EventsEpisodicRBS를 설계한다. 결과적으로 이러한 연구를 통해서 자율적 인간형 로봇 환경에서 로봇이 지능적 서비스 제공의 핵심 모듈인 상황 추론을 지원하는데 큰 기여를 할 수 있는 하부 시스템으로서의 의미를 가질 수 있다.

키워드: 시맨틱 로봇 메모리(Semantic Robot Memory), 5W1H, 자율적 인간형 로봇(Autonomous Humanoid Service Robot)

I. 서론

과거 10년 동안 로봇기술은 인간을 위해 보다 지능적인 서비스를 제공하기 위해 개발 되어 왔다. 지능적인 서비스를 제공하는 자율적 로봇이 의미하는 것은 로봇 자신이 더 높은 수준의 요구를 수행하는 것으로 정의할 수 있다 [1]. 최근에 이러한 자율적 로봇의 개념은 자율적 인간형 로봇 시스템 (Autonomous symbiotic human-robot system)으로 확장되고 있으며 인간과 로봇 사이의 상호작용 관계는 로봇이 인간의 생활에 있어서 파트너가 된다는 점에서 관심이 높아지게 되었다 [2]. 이러한 관점에서 본 논문은 상기 목표를 달성하기 위한 가장 중요한 기술을 로봇의 지능 시스템과 추론엔진이라고 보고 있다.

오늘날 온톨로지는 의미적 정보에 대해 컴퓨터가 처리 가능한 구조를 가지며 다른 에이전트 사이에 통신이 가능하도록 하기 위해 개발되었다 [3]. Gruber는 “An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization” 라고 정의했다. 이러한 개념은 인간 세상에 존재하고 있는 사물(Thing)들에 대한 분류 및 정의를 용이하게 한다. 이러한 특징 때문에 체계적이고 의미적으로 자율적인 상호작용 하는 인간형 로봇의 지식체계를 구축하는데 많이 이용되고 있다.

이러한 관점에서 본 논문은 온톨로지라는 개념을 자율적 인간형 로봇 시스템에 적용하기 위한 통합적 지식 모델을 제안하며 특히, 로봇이 수행하는 인스턴스 작업들을 효과적이고 효율적으로 유지 관리하기 위한 로봇 환경에서의 자전적 기억 모델을 제안하는데 초점을 둔다.

II. 로봇 지식의 분류

본 논문에서는 통합적 로봇 지식 모델을 설계하기 위해 우선 인간 기억 시스템을 기반으로 로봇 지식을 분류한다. 즉, 각 지식 체

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신 연구 진흥원의 대학 IT연구센터 육성 · 지원사업 (IITA-2009-c1090-0902-0031)의 연구결과로 수행되었음
* 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국 과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-20135-0)

게의 상관관계 분석을 통해서 로봇 환경에서의 지식 모델로 분류한다. 일반적으로 인간의 기억은 서술과 비서술 기억으로 구분된다. 서술기억은 Facts/Semantic 메모리, Events/Episodic 메모리, Skills/Procedure 메모리로 분류 된다. 비서술 기억에 여러 종류의 메모리가 있지만 로봇 환경에서는 지식이 물리적으로 저장되어야 하는 특징 때문에 비서술 기억들은 적용하기에 어려움을 가지고 있기 때문에 본 논문에서는 고려를 하지 않았다.

Tulving 이론 [4]에 의하면 인간이 상황 및 객체를 인지하거나 추론을 할 때 참여하는 기억 시스템으로서 위에서 언급한 세 개의 기억체계를 기반으로 하며 특정 인지에 대해서 인지 정보에 대한 관련 지식을 이들 기억체계로부터 검색하여 Working Memory라고 불리는 기억 시스템에서 분석 및 추론을 한다고 정의하고 있다. 이러한 관점에서 Working Memory는 본 논문에서 설계한 로봇 브레인 저장소를 이용하는 추론 시스템과 매핑 될 수 있다.

즉, 로봇환경에서의 중요한 기억체계는 온톨로지 기반의 지식으로 쉽게 표현할 수 있다는 점에서 핵심이 되는 기억 메모리는 Facts/Semantic 메모리, Events/Episodic 메모리, Skills/Procedure 메모리이다. 인간의 기억 시스템의 특성에 따르면 로봇 브레인 모델은 위에 설명한 3가지의 기억으로 구분이 된다. 좀 더 구체적으로 Facts/Semantic기억은 상황, 목적, 공간, 특징 그리고 인간을 기존 연구인 RocOn[5]의 온톨로지를 기반으로 하여 지식을 저장한다. Events/Episodic 메모리는 WHEN, WHERE, WHO, WHY, WHAT, HOW의 5W1H를 사용하여 로봇의 경험적인 정보를 저장한다. 마지막으로 Skills/Procedure 메모리는 행동에 적용되는 정보와 태스크 플래너를 위한 기술적인 정보를 저장한다.

III. 본론

1. 로봇 브레인 저장소

본 논문에서는 RocOn 온톨로지 기반의 멀티레이어 로봇 지식 프레임 워크를 사용하였다. RocOn은 OMRKF라고도 불리며, 이것은 4가지의 레벨의 지식으로 구성되어 있다. 4가지 레벨에는 지각(Perception), 모델(Model), 상황(Context), 활동(Activity)가 있으며, 각각의 레벨에는 추상화 정도에 따라 3개층의 지식 레이어를 가지고 있다. 또한 각 지식 레벨은 3개의 온톨로지 레이어를 가지고 있는데 여기에는 메타 온톨로지 레이어, 온톨로지 레이어, 온톨로지 인스턴스 레이어가 포함되어 있다.

Fig. 1에서 보는 것처럼, 로봇 기억의 저장 모델인 로봇 브레인 저장소의 전체적인 구조는 앞에서 설명한 것 처럼 3가지의 메모리 사이의 관계로부터 구성되어 있다. 모든 RBS는 온톨로지 지식을 기반으로 하며 OWL [6]을 사용한다. 이것은 RBS가 RocOn으로 온톨로지 기반 프레임워크를 사용하기 때문에 본 논문에서는 EventsEpisodicRBS에서 5W1H의 관리에만 초점을 맞추기로 한다.

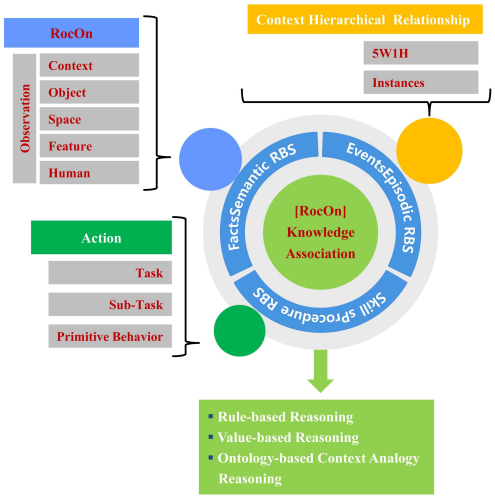

Fig. 1 로봇 브레인 저장소 모델

EventsEpisodicRBS는 두 가지의 장점을 가지고 있다. 첫 번째로 인간과 로봇 사이의 상호작용에 대한 Episodic 정보를 제공하는 것이고, 두 번째로 온톨로지 기반의 상황 추론을 지원한다. 첫 번째 장점은 Fig. 2에서 보여주는 것과 같이 인간과 로봇 사이의 상호작용 보여주고 있다. 그리고 몇 가지 질문에 대한 답변은 많은 상호작용 아래의 Episodic 정보에 따라 다른 답변을 보여준다.

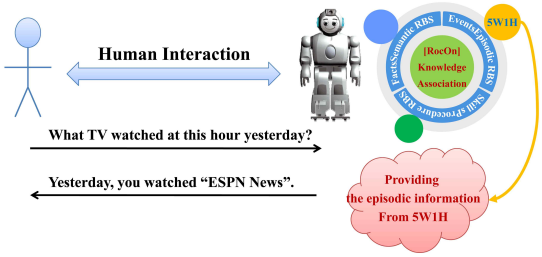

Fig. 2 5W1H를 이용한 예

만약 정보를 잘 관리 하지 않는다면 상호 작용관련 부분이 Fig. 2와 같이 나타날 수 없다. 두 번째 장점은 현재로부터 많은 도메인들은 상황을 추론하기 위해 Episodic 정보를 고려하지 않았다. Episodic 정보는 시간에 따라 저장하는 경우 시퀀스가 일치하고 온톨로지 기반의 상황 추론의 오류 비율을 줄인다면 더 정확한 상황을 추출할 수 있다. 이와 관련 5W1H 온톨로지 구조에 기반을 둔 EventsEpisodicRBS를 제안한다.

2. TES 모델

이 장에서는 EventsEpisodicRBS 지식 모델인 5W1H을 기반으로 한 TES(Temporal Episodic Structure)모델을 제안한다. TES모델을 설명하기 이전에, 본 논문에서는 상황에 대해 정의한다. 기존 연구에서는 상황을 로봇의 행동 또는 환경에 의한 상황이라고 정의하였다. 그러나 상황에 대한 정의는 개념만을 가지고 있는 것이 아니라 Symbolic-based 상황 또는 ontology-based 상황과 같이 여러 가지 표현으로도 나타낼 수 있다. 이와 같은 혼동을

피하기 위해서 본 논문에서는 5W1H를 기반으로 하여 상황을 정의한다.

정의 1(Context) : 상황는 온톨로지를 기반으로 한 WHAT과 HOW로 구성된다. WHAT은 동작을 목적으로 한 온톨로지 이며, HOW는 객체의 동작을 표시하는 온톨로지이다. 따라서 context는 다음과 같이 정의된다.

$$Context = ([Object \rightarrow WHAT]^{+}, Behavior \rightarrow HOW)$$

Fig. 3은 "수업을 하다(Take Lecture)"와 "식사를 하다(Have Meal)"라는 예제가 정의 1에서 정의된 상황으로 어떻게 표현되는지 보여준다. 본 논문에서는 온톨로지에 기반을 둔 multi-layered 로봇 지식 체계 프레임워크인 RocOn을 사용한다. 즉, 본 논문에서 제안된 상황에 대한 개념을 RocOn에 추가하였다. 정의 1과 Fig. 3에 제시된 것처럼, 상황은 동작 온톨로지와 객체 온톨로지를 가진다. 많은 객체들이 대개 1개의 동작을 가지기 때문에 상황은 하나 이상의 객체들과 동작을 가진다. 이러한 개념을 상황에 적용하기 위해 본 논문에서는 의미 혼란(semantic confuse)이 없도록 상황을 정의하였다. 그 결과 이러한 개념(상황에 대한정의)은 5W1H의 WHAT 과 HOW에 연결된다. 5W1H는 정의 2에 제시된 것처럼 정의된다.

정의 2(TES 모델) : TES 모델은 로봇의 과거 기억을 5W1H의 형태로 저장하는 것으로 특정 상황의 수행기간 동안 시작시간과 종료시간을 5W1H의 시간 형태로 가지고 있는 모델이다. 즉 TES 모델은 아래와 같이 정의된다.

$TES = SEQUENCE < WHEN, WHERE, WHAT, WHY, WHO, HOW, IK >,$
where WHEN is Time ontologies,
WHERE is Space ontologies of RockOn,
WHAT is Object ontologies of RockOn,
WHY is Behavior ontologies,
WHO is Human ontologies,
HOW is Behavior ontologies, and
IK is the recognized Instance Knowledge

정의 2에 제시된 것처럼 5W1H를 저장하기 위한 TES는 일시적인 관점(temporal dimension)아래 Episodic 정보들을 저장한다. 또한 Episode들을 분리하는 것은 특정 이벤트 또는 상황에 해당하는 상황이다. 모든 요소들은 각각 시간, 공간, 객체, 행동, 사람, 인스턴스들이다. 특히 시간 온톨로지는 W3C에 의해 제시되어 있는 "Time Ontology in OWL"을 기반으로 한다.

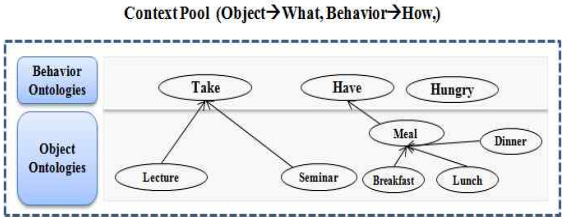

Fig. 3 상황 묘사에 대한 예

이 는 각각의 과거 Episode의 시작 시간과 종료시간에 따라 여러 Episodic 정보를 보여준다. 많은 로봇환경에서는 고차원 상황 추론(High-Level context inferencing)을 달성해야하기 때문에 위에서 기술된 Episodic 정보는 매우 중요하다. 그러나 Episode를 위해 개념을 적용하는 것은 다음과 같은 2가지의 문제점을 가지고 있다. 첫째는 5W1H의 각각의 요소들의 분류에 대한 어려움, 둘째는 크기가 큰 정보에 대한 관리의 문제점이다. 첫 번째 문제를 위해 5W1H 정보의 추출은 Take/Action planner와 상황 결과와 같이 외부 모듈사이에서 상호작용할 필요가 있다. 두 번째 문제에서는 로봇이 작동하는 동안 생성되는 Episodic 정보는 방대하며 관리하기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 도메인들은 관계형 데이터베이스를 기반으로 하여 정보 관리를 수행하였다. 첫 째 문제는 TES 모델을 설계하고 관리하는 면에서 요점을 벗어났기 때문에 본 논문에서는 두 번째 문제만 고려한다. Episodic 정보의 효율적인 관리는 서비스 태스크를 지원하기 위한 추론 엔진의 성능을 결정한다. 이것과 관련하여 본 논문에서는 관계형 데이터베이스 기반의 Events Episodic RBS 데이터 베이스 스키마를 설계하였다. TES 모델로부터 실행된 EventsEpisodicRBS의 데이터베이스 스키마는 Fig. 4와 같다.

OWL 온톨로지들은 RDF트리플을 기반으로 하기 때문에 RDF 트리플이 OWL 온톨로지를 기술하기 위한 최소 단위이기 때문에 본 논문에서는 모든 온톨로지를 나타낼 수 있다. 예를 들어 한 세트의 RDF트리플로 객체(object),상황(context),공간(space)온톨로지를 나타낼 수 있다. 이것과 관련하여 OWL온톨로지를 관계형 데이터베이스 시스템에 저장하기 위한 물리적 데이터 구조는 owl_triple테이블과 리소스 테이블을 기본적으로 가진다.

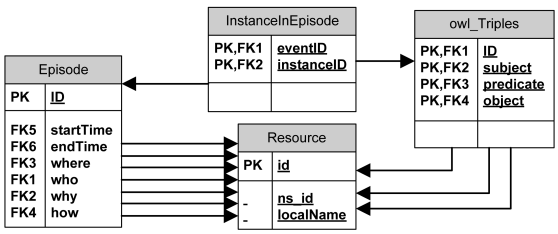

Fig. 4 EventsEpisodicRBS 데이터베이스 스키마

Episode를 저장하기 위한 에피소드 테이블은 ID, startTime, endTime, where, why, what, how로 구성된다.

테이블의 각 속성은 자신들이 속한 다른 온톨로지들을 참조해야 하므로 Fig. 4와 같이 리소스 테이블의 외래키를 가지고 있다. 마지막으로 인스턴스 지식은 InsanceInEpisodic 테이블에 저장된다. Episode가 많은 인스턴스들을 취할 수 있기 때문에 이 테이블은 에피소드 테이블과 분리되는 점을 주의해야 한다.

테이블의 분리는 지식의 중복을 최소화하기 때문에 이러한 설계는 인스턴스 지식의 갱신(Update), 삽입(Insert), 삭제(Delete)에 대한 성능 향상을 가져온다.

또한 본 논문에서는 TES모델에 사용되는 EventsEpisodic RBS의 쿼리 API를 설계하였다. Fig .5 에서는 EventsEpisodic

RBS에 저장하고 5W1H에 질문하는 구조를 보여준다. 제안한 구조는 Episode 데이터 프로세서와 에피소드 쿼리 프로세서로 로 나누어진다.

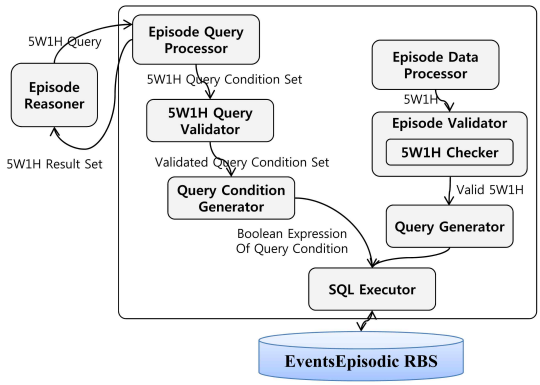

Fig. 5 5W1H 질의 프로세싱 아키텍처

TES모델이 파싱되면 Episode 데이터 프로세서는 5W1H의 모든 요소들의 존재여부를 체크하기 위해 5W1H의 집합을 Episode 검사기(validator)까지 전달한다. 5W1H에 기술된 모든 온톨로지가 객체, 공간, 상황을 참조하기 때문에 5W1H checker는 이전에 저장된 온톨로지로부터 언급된 온톨로지의 존재유무를 확인한다. 만일 5W1H가 유효하면 쿼리 Generator는 5W1H를 위한 관계형 데이터베이스 시스템에서 질의어인 SQL을 생성하고 SQL Executor는 생성된 SQL을 실행한다.

Episode 쿼리 프로세서는 EventsEpisodicRBS로부터 5W1H를 여러 가지 패턴으로 검색할 수 있는 5W1H 질의 입력 값을 처리한다. 즉, Episode 쿼리 프로세서는 5W1H 쿼리 검사기까지 5W1H 질의 입력 값을 위한 설정 집합을 전달한다. 5W1H 쿼리 검사기는 5W1H 입력 값에서 언급된 온톨로지의 사용을 확인한다. 만일 언급된 온톨로지가 존재하지 않는다면 5W1H 쿼리 검사기는 오류 신호를 보내준다. 온톨로지의 정확한 사용을 확인한 후에 유효한 질의 조건 설정을 Query Condition Generator으로 전달하게 된다. 마지막으로 Query Condition Generator는 유효한 질의 조건으로부터 Boolean Expression으로 SQL을 생성하게 되는데 SQL의 Where절에 위치하게 된다. 본 논문에서 5W1H 질의는 다음과 같은 정규 표현을 가진다.

```
Query := Condition (‘&’ | ‘|’) Query
Condition :=    ‘(’ WHEN | WHERE | WHAT | WHO | WHY | HOW  ‘)’
WHEN   := ‘WHEN = ‘ TimeDuration | StringType
WHERE := ‘WHERE =‘ StringType
WHAT  := ‘WHAT =‘ StringType
WHO    := ‘WHO =‘ StringType
WHY    := ‘WHY =‘ StringType
HOW    := ‘HOW  =‘ StringType
```

예를 들어 WHO는 Student 이고 WHEN은 Yesterday이며 WHERE는 LectureRoom인 에피소드를 질의하고자 할 때 5W1H질의 입력 값은 “(WHO='Student' & WHEN='Yesterday')|(WHERE='LectureRoom')”과 같다. 이러한 질의는 최종적으로 SQL로 변환된다. 따라서 위에서 제시된바와 같이 WHEN에 대한 내용을 기술할 때는 WHEN이 시간 온톨로지로 표현되기 때문에 현재 시간에 따라 시간 온톨로지의 날짜와 시간을 번역한다.

```
SELECT startTime, endTime, Where, What, Who, Why, How
FROM Episode
WHERE
who   = (SELECT id FROM Resource WHERE localName='Student') and
where = (SELECT id FROM Resource WHERE localName='LectureRoom')   and
startTime like '2010-04-01 00:00' and
endTime like '2010-04-01 23:59'
```

IV. 결론

본 논문에서 TES모델을 위한 EventsEpisodicRBS를 제안 하였다. 이는 온톨로지 기반의 5W1H를 이용하여 언제, 어디서 무엇을, 누가, 왜, 어떻게 의 정보를 제공할 수 있게 하였다. 5W1H는 인간과 로봇과의 상호작용에 관한 Episodic 정보를 이용하여 보다 지능적인 태스크 서비스를 제공 한다는 이점이 있다. 또한 로봇이 작동하는 동안 방대한 Episode들을 효율적으로 관리할 수 있다. 마지막으로 본 논문에서는 EventsEpisodicRBS에 저장하고 5W1H에 질문하는 구조를 설계하였다. 향후 연구에서는 본 논문에서 제시한 온톨로지 기반의 5W1H의 개념을 계층적 온톨로지 기반 5W1H로 확장할 계획이다.

참고문헌

[1] Haruki Ueno, “A Knowledge-based Information Modeling for Autonomous Humanoid Service Robot”, IEICE Transaction on Information & System, Vol. E85-D, No. 4, pp. 657 - 665, 2007.

[2] Tao Zhang and Haruki Ueno, “Knowledge model-based Adaptive Intelligent Control of Robots for a Symbiotic Human-robot System”, International Journal of Automation and Control 2007 - Vol. 1, No.1, pp. 64 - 83, 2007.

[3] Dieter Fensel, “Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce - Second Edition”, Springer, 2004.

[4] Linda Laurila, “Neuropsychology of Semantic Memory: Theories, Models, and Tests”, School of Humanities and Informatics in University of Skovde, Sweden, 2007.

[5] Il Hong Suh, Gi Hyun Lim, Wonil Hwang, and Hyowon Suh, “Ontology-based Multi-layered Robot Knowledge Framework (OMRKF) for Robot Intelligence”, Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 429 - 436, 2007.

[6] Deborah L. McGuinness, Frank van Harmelen: OWL Web Ontology Language Overview W3C Recommendation. Feb 2004. See http://www.w3.org/TR/owlfeatures/.