

자율주행 로봇의 제어를 위한 온톨로지 설계

Design of Ontology for Control of Autonomous Robots

이인근 · 권순학

In K. Lee and Soon H. Kwon

영남대학교 전기공학과

E-mail : iklee@yun.ac.kr, shkwon@yu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 자율주행 로봇의 제어를 위한 온톨로지 설계 방법을 제안한다. 제안한 방법은 ‘감지’, ‘획득’, ‘인식’, ‘(경로·행동)계획’, ‘행동’의 다섯 단계로 구성된 ‘인지 사이클’에서 ‘감지’, ‘행동계획’, ‘행동’ 단계를 온톨로지를 이용하여 구현함으로써 온톨로지에 의한 로봇의 제어가 가능하도록 한다. 즉, ‘감지’ 단계에서는 자율주행 로봇이 센서를 통해 감지한 환경 정보를 온톨로지 표현하고, ‘행동계획’ 단계에서는 온톨로지를 이용하여 로봇 주변의 상황에 따른 국소 영역에서의 로봇의 행동을 계획하며, ‘행동’ 단계에서는 온톨로지를 통해 로봇 구동부의 제어가 가능하도록 한다. 그리고 차동구동형 로봇을 제작하고, 실제 환경에서의 실험을 통해 그 타당성을 검증한다.

키워드 : 자율주행 로봇, 온톨로지 제어, 온톨로지 추론

1. 서 론

자율주행 로봇은 ‘경로계획’ 과정을 통해 현재 위치에서 목표점까지 효과적으로 이동하기 위한 로봇의 이동 경로를 계획한다. ‘경로계획’의 결과로 현재 위치에서 목표점까지 이동 가능한 다양한 경로가 생성될 수 있으나, 로봇은 목표점까지의 거리, 도착 시간, 안전성 등을 고려하여 적절한 이동 경로를 결정한다. 또한 로봇은 ‘행동계획’을 통해 이동 과정에서 장애물과의 충돌을 회피하기 위한 로봇의 진행 방향과 속도 등을 제어한다.

자율주행 로봇의 위치인식을 통한 ‘경로계획’에 관한 연구로써, 참고문헌 [1]에서는 자율주행 로봇이 온톨로지 구성한 지도에 기반하여 목표점까지 이동하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 참고문헌 [1]에서 제안하는 알고리즘은 Konar[2]가 제안한 ‘인지 사이클’에서 ‘지식베이스’를 기반으로 ‘감지’, ‘획득’, ‘인식’, ‘(경로·행동)계획’, ‘행동’의 다섯 단계의 과정 중에서 ‘획득’, ‘인식’, ‘경로계획’ 단계에 온톨로지를 적용함으로써 수치로 표현된 좌표 기반의 지도가 아닌 장애물 사이의 관계정보만을 표현한 ‘지도 온톨로지’를 이용하여 목표를 찾아 이동하는 것을 컴퓨터 모의 실험을 통해 확인하였다. 그러나 이 연구에서는 ‘인지 사이클’에서 ‘감지’, ‘행동계획’, ‘행동’ 단계에서의 온톨로지 활용에 대한 구체적인 연구가 부족하다.

본 논문에서는 참고문헌 [1]의 연구를 확장하여 ‘감지’, ‘행동계획’, ‘행동’ 단계에서 온톨로지를 적용할 수 있는 온톨로지 설계 방법을 제안한다. 즉, ‘감지’ 단계에서는 자율주행 로봇이 센서를 통해 감지한 환경 정보를 온톨로지 표현하고, ‘행동계획’ 단계에서는 온톨로지를 이용하여 로봇 주변의 상황에 따른 국소 영역에서의 로봇의 행동을 계획하며, ‘행동’ 단계에서는 온톨로지를 통해 로봇 구동부의 제어가 가능하도록 한다. 그리고 제안한 방법을 실제 자율주행 로봇에 적용하여 실제 환경에서의 실험을 통해 그 효용성을 확인한다.

2. 온톨로지의 설계

2.1 온톨로지의 기본 설계

자율주행 로봇의 인지 사이클에서 ‘지식베이스’를 구성하는 온톨로지는 ‘지도 온톨로지’[1], ‘상황 온톨로지’[1], ‘로봇 온톨로지’로 구성된다. 로봇 온톨로지는 로봇을 구성하는 감지부와 구동부의 속성 및 관계를 표현한 것으로써, 그림 1과같이 감지부를 개념화한 ‘Sensor’는 로봇의 구성품을 나타내고, 속성 ‘has_part’를 이용하여 로봇과의 관계를 형성한다. 그리고 개념 ‘MotorPart’는 로봇의 구동부로서 좌·우의 모터를 ‘left_motor’와 ‘right_motor’의 개체로 나타내고, 각 모터를 구동하기 위한 제어 값은 속성 ‘motor_value’를 이용하여 표현한다.

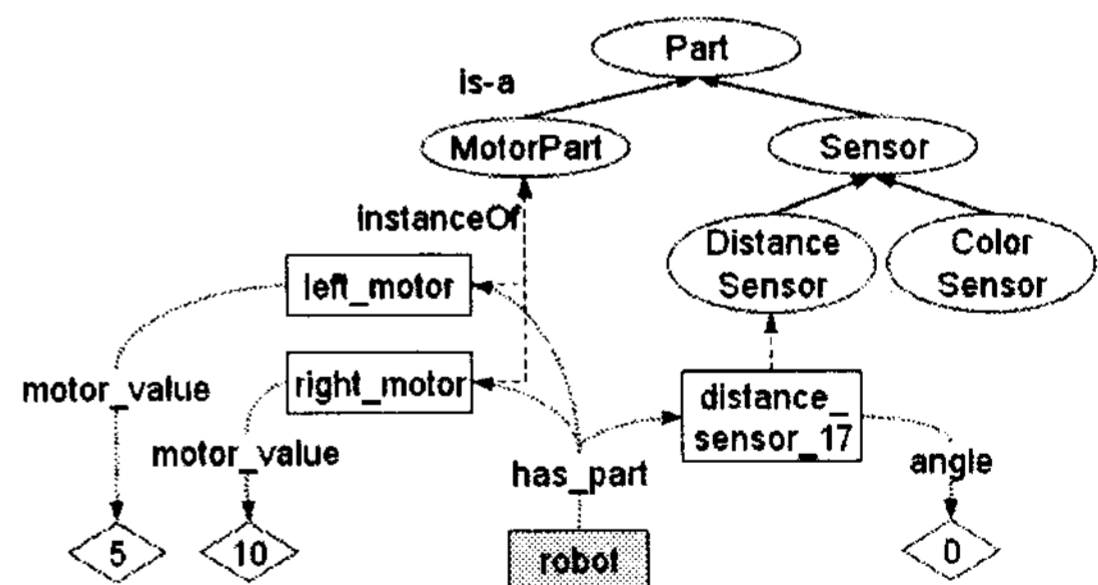


그림 1. 로봇 온톨로지.

Fig. 1. Robot-ontology.

그림 2는 로봇의 지식베이스를 구성하는 온톨로지에서의 관계 설정을 위한 속성의 계층관계를 나타낸다. 그림 2에서 ‘direction_property’는 로봇이 감지한 장애물의 방향을 나타내기 위한 속성이고, ‘subtarget’은 로봇이 탐색할 부목표를 지정하기 위한 속성이다. ‘membership_function’은 퍼지 소속 함수를 표현하기 위한 속성이고, ‘sensing_property’는 로봇이 감지한 환경 정보의 표현을 위한 속성이다. 그리고 ‘control_property’는 로봇 구동부의 제어와 관련된 속성이다.

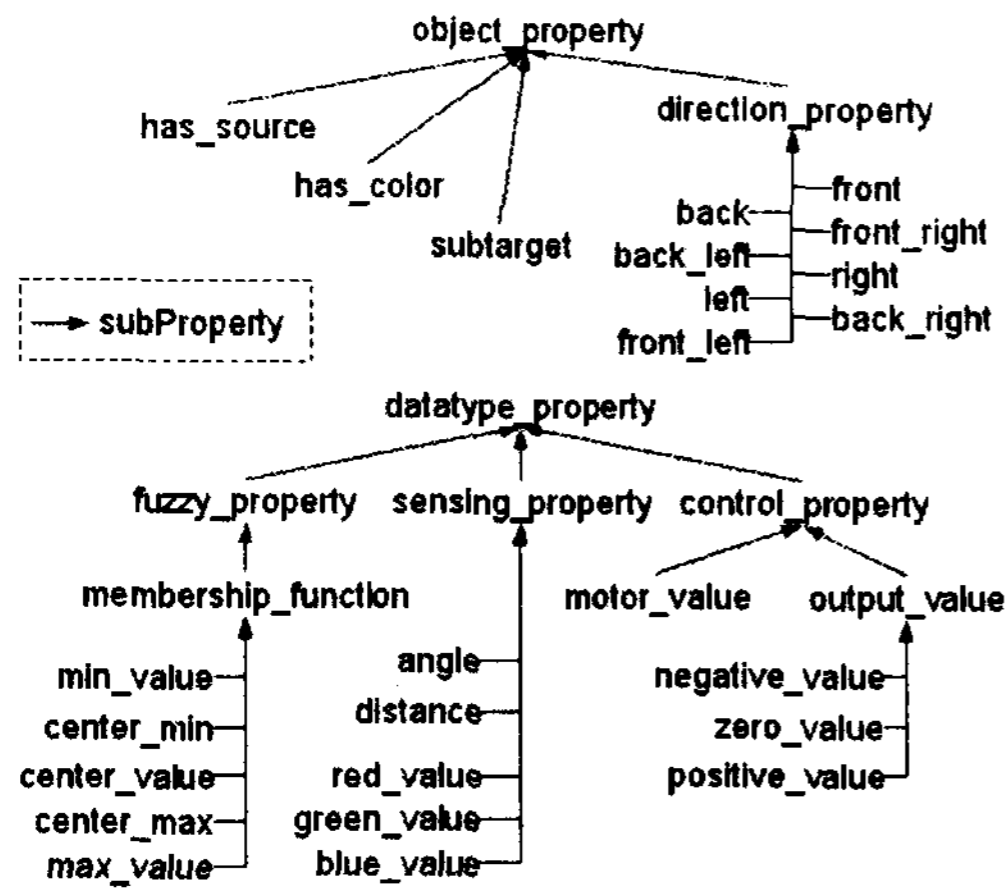


그림 2. 속성 계층.

Fig. 2. Hierarchy of properties.

2.2 센서 모듈과 감지 정보의 개념화

로봇은 레이저센서, 초음파센서, 카메라 등 다양한 종류의 센서를 장착하여 주변 정보를 감지하는데, 그 종류는 다르지만 측정하고자 하는 대상(예:장애물과의 거리 정보)은 동일하다. 따라서 각 센서를 개념화하여 온톨로지로 표현한다. 즉, 그림 3과 같이 영상 센서는 'ColorSensor'로 개념화 하고, 거리 센서는 'DistanceSensor'로 개념화 한다. 그리고 특정 각도에서의 센서를 'color_sensor_x', 'distance_sensor_x'와 같이 개체로 표현한다.

그리고 개념화한 각 센서에서 감지된 장애물의 정보를 개념화하여 온톨로지로 표현한다. 예를 들어, 동일한 각도에서 감지한 장애물의 정보를 나타내기 위해서는, 감지한 정보들 중 색상, 거리, 각도 등의 정보를 하나의 그룹으로 표현할 필요가 있다. 따라서 감지 정보의 그룹을 개념 'SensingObject'의 개체로 표현하고, 각 개체는 속성 'red_value', 'green_value', 'blue_value', 'distance', 'angle'을 이용하여 센서가 감지한 값과 위치를 지정한다.

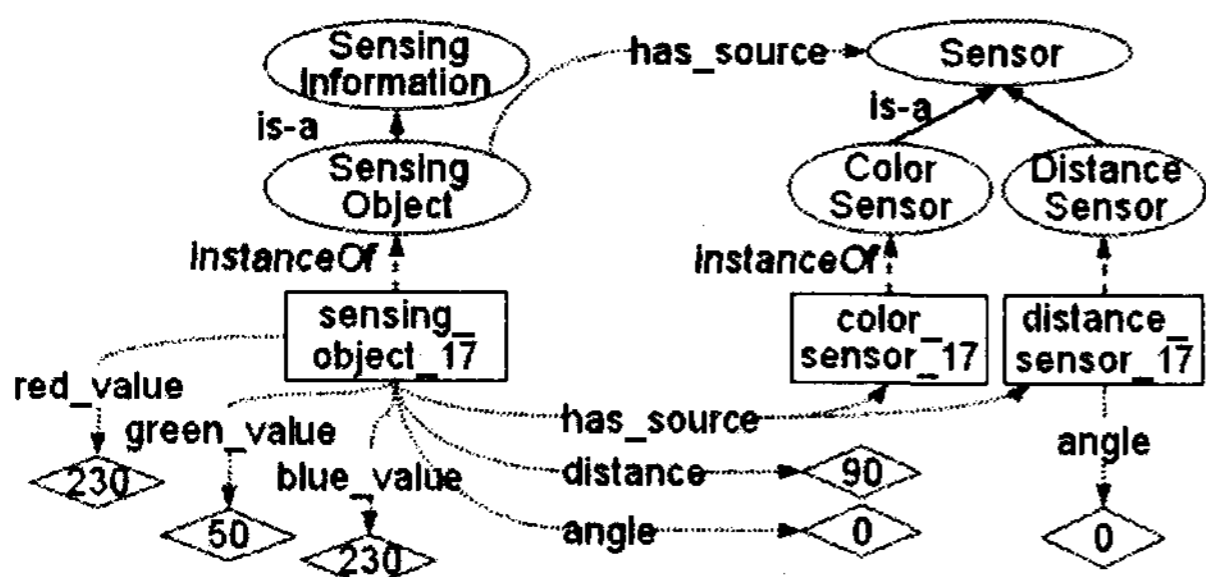


그림 3. 센서와 감지한 장애물 정보의 개념화.

Fig. 3. Conceptualization of sensors and information on the detected obstacles.

3. 온톨로지를 이용한 로봇의 제어

로봇 주변의 환경이 그림 4와 같을 때, 점선으로 표시된 로봇의 감지 범위 내의 장애물 정보를 그림 5와같이 상황 온톨로지로 표현한다. 상황 온톨로지는 로봇이 현재 위치를 인식하기 위한 최소한의 정보를 나타내며, 로봇의 위치 인식에 사용된다. 또한 로봇의 이동에 관련된

'행동계획' 과정에서 상황 온톨로지에 표현된 장애물과의 관계정보가 로봇 구동부의 제어 값결정에 이용된다. 그리고 로봇의 좌·우측 모터의 제어 값은 퍼지 제어의 개념을 적용한 온톨로지 추론을 통해 구한다.

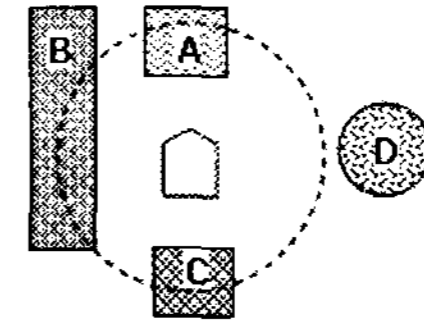


그림 4. 로봇의 장애물 감지.

Fig. 4. Obstacle detection of a robot.

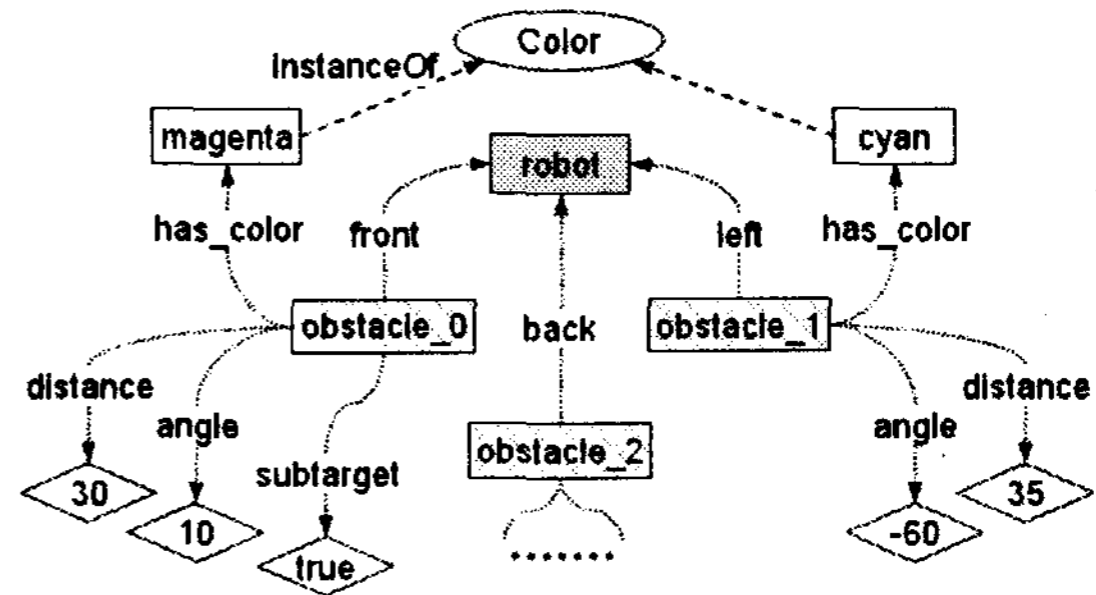


그림 5. 상황 온톨로지

Fig. 5. Circumstance-ontology

표 1과 표 2는 탐색 장애물의 방향과 거리에 따른 로봇 구동부 좌·우측 모터의 퍼지 제어 규칙이다. 그리고 그림 6(a-b)는 장애물의 거리와 방향의 입력부 소속 함수이고, 그림 6(c-d)의 로봇 구동부의 모터 제어 값을 결정하기 위한 출력부 소속 함수이다.

표 1. 좌측 모터의 퍼지 제어 규칙.

Table 1. Fuzzy control rules for the left motor.

distance	DF	CN	CZ	CZ	CP	CP	CP	CP	CP
	DM	CN	CZ	CZ	CP	CN	CP	CP	CP
	DN	CN	CZ	CP	CP	CN	CN	CP	CP
	DZ	CP	CZ	CP	CP	CN	CN	CP	CP
left motor	BK	BL	LT	FL	FT	FR	RT	BR	
angle									

표 2. 우측 모터의 퍼지 제어 규칙.

Table 2. Fuzzy control rules for the right motor.

distance	DF	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CZ	CZ
	DM	CP	CP	CP	CP	CN	CP	CZ	CZ
	DN	CP	CP	CP	CN	CN	CP	CP	CZ
	DZ	CP	CP	CP	CN	CN	CP	CP	CZ
right motor	BK	BL	LT	FL	FT	FR	RT	BR	
angle									

온톨로지 추론을 통해 로봇의 구동부 제어 값을 결정하기 위해서 그림 6에서 정의된 소속 함수의 언어항을 개념화하여 그림 7과같이 온톨로지로 표현한다.

예를 들어, 표 1에서 'left_motor'의 제어 값은, 로봇과 부 목표까지의 거리(distance)가 'DF', 그리고 로봇의 전

행방향을 기준으로 장애물의 부 목표의 방향이 'FT'인 경우 [Rule-1]에서 'left_motor'의 제어 값에 대한 언어항 'CP'의 값을 '?mv'로 결정되며, 이 모든 값들에 대한 비퍼지화 과정은 [Rule-2]와 [Rule-3]에 의해 이루어진다.

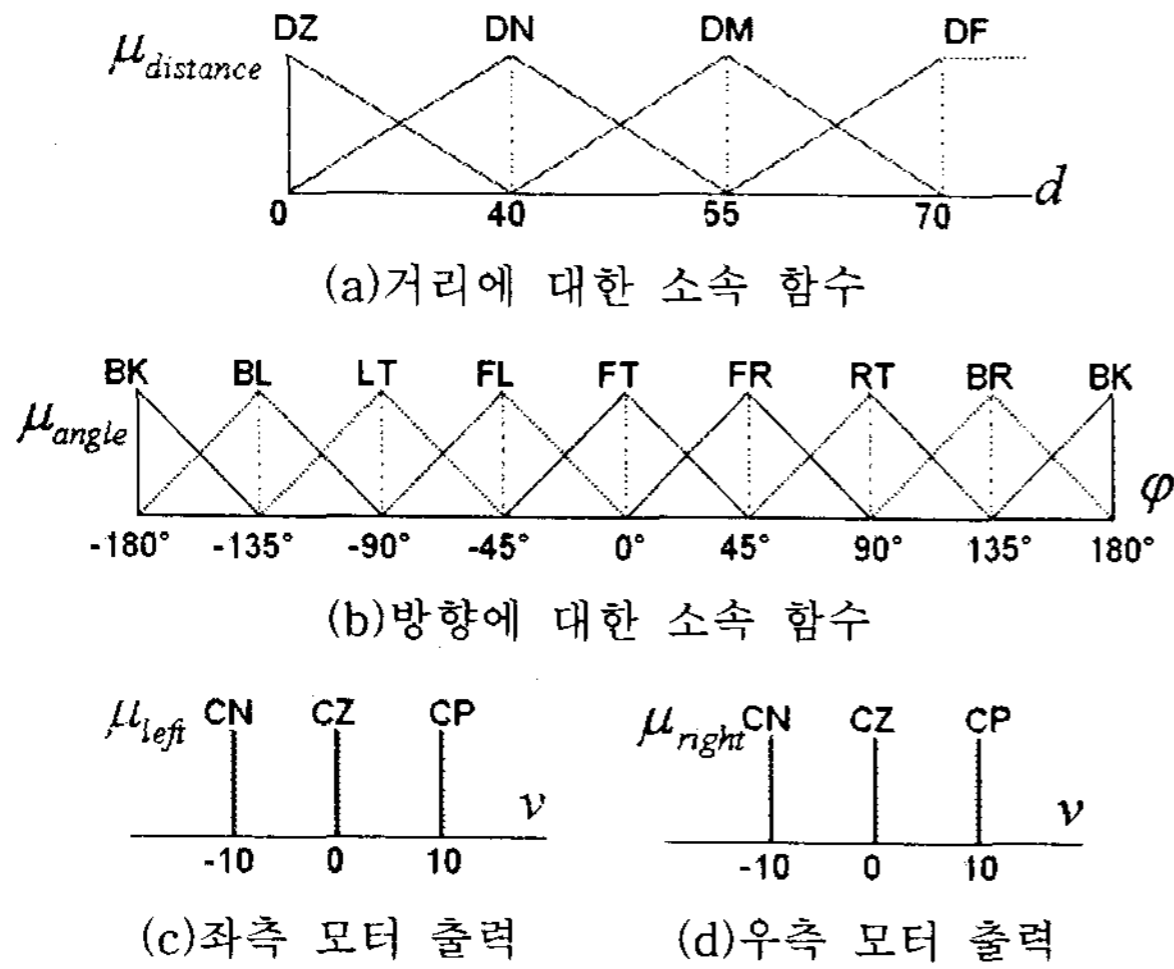


그림 6. 퍼지 소속 함수.

Fig. 6. Fuzzy membership functions.

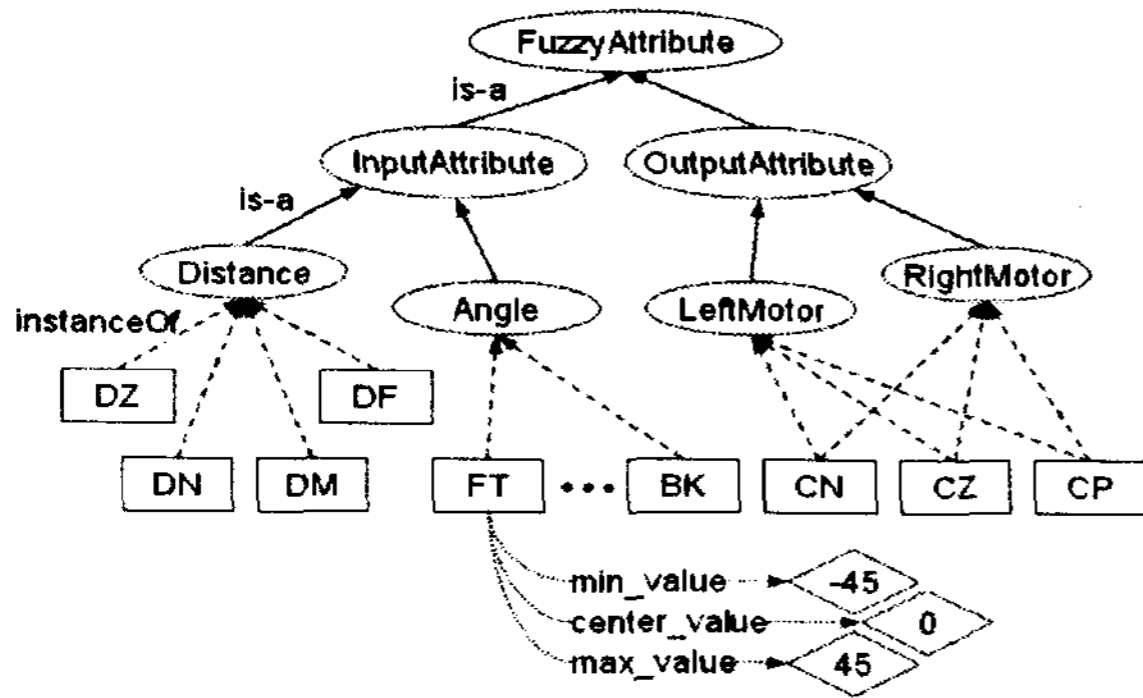


그림 7. 입·출력 속성별 언어항.

Fig. 7. Linguistic terms at each attributes.

[Rule-1]

Obstacle(?ob)
 $\wedge front(?ob, robot) \wedge subtarget(?ob, 'true')$
 $\wedge distance(?ob, ?dv) \wedge MF_{Triangular}(DF, ?dv, ?mdv)$
 $\wedge angle(?ob, ?av) \wedge MF_{Triangular}(FT, ?av, ?mav)$
 $\wedge F_{min}(?mdv, ?mav, ?mv)$
 $\rightarrow positive_value(left_motor, ?mv)$

[Rule-2]

control_value(?p1) \wedge output_value(?p2)
 $\wedge ?p1(left_motor, ?v1) \wedge ?p2(left_motor, ?v2)$
 $\wedge F_{greater_Then}(?v1, ?v2)$
 $\rightarrow C_{remove}(?p2(left_motor, v2))$

[Rule-3]

MotorPart(?m) \wedge center_value(CP, ?cv)
 $\wedge positive_value(?m, ?v)$
 $\rightarrow motor_value(?m, ?cv)$

여기서, ' $MF_{Triangular}(DF, ?dv, ?md)$ '는 변수 언어항 'DF'의 삼각형 모양의 소속 함수에서의 소속 함수 값을 변수 '?mdv'에 지정하는 함수이다. 여기서 ' C_{remove} '는 지정된 온톨로지 요소를 삭제하는 명령이다.

[Rule-1]은 부 목표 장애물 '?ob'가 로봇의 전방(front)에 위치할 때, '?ob'의 거리와 각도에 대한 퍼지 소속값의 T-norm을 'left_motor'의 'positive_value'로 설정한다는 의미이다. 즉, 표 1의 제어 규칙 중 하나를 온톨로지 규칙으로 표현한 것이다.

[Rule-1]을 통한 추론의 결과로써 개체 'left_motor'는 출력에 대한 다수의 'output_value'가 결정된다. 그리고 [Rule-2]와 [Rule-3]의 추론 규칙에 의한 온톨로지 추론을 통해 다수의 출력 중에서 단 하나의 'output_value'를 결정한다.

4. 실험

제안한 온톨로지를 실제 환경에 적용하기 위하여 조향 장치가 없이 좌·우측 바퀴에 의해 방향과 속도가 결정되는 차동구동형 로봇을 모델로 하였다. 그리고 바닥에서 2.5m 상단에 설치한 1대의 USB 카메라를 통해 로봇의 위치, 진행방향, 장애물과의 거리, 장애물의 속성 등의 정보를 획득하는 방법을 이용하였다. 로봇의 지식 구성을 위한 온톨로지의 구축, 추론, 검색은 JENA[4]를 이용하였다.

그림 8은 자율주행 로봇의 제어 실험 환경이다. ②의 영상 정보로부터 로봇과 장애물을 추출하여 ③의 영상 정보를 생성하였다. ①은 로봇의 감지범위와 이동궤적을 표현한 것이다. ④,⑤,⑥,⑦은 참고문헌 [1]에서와 같이 로봇의 이동에 필요한 추가적인 정보를 표현한 것이다.

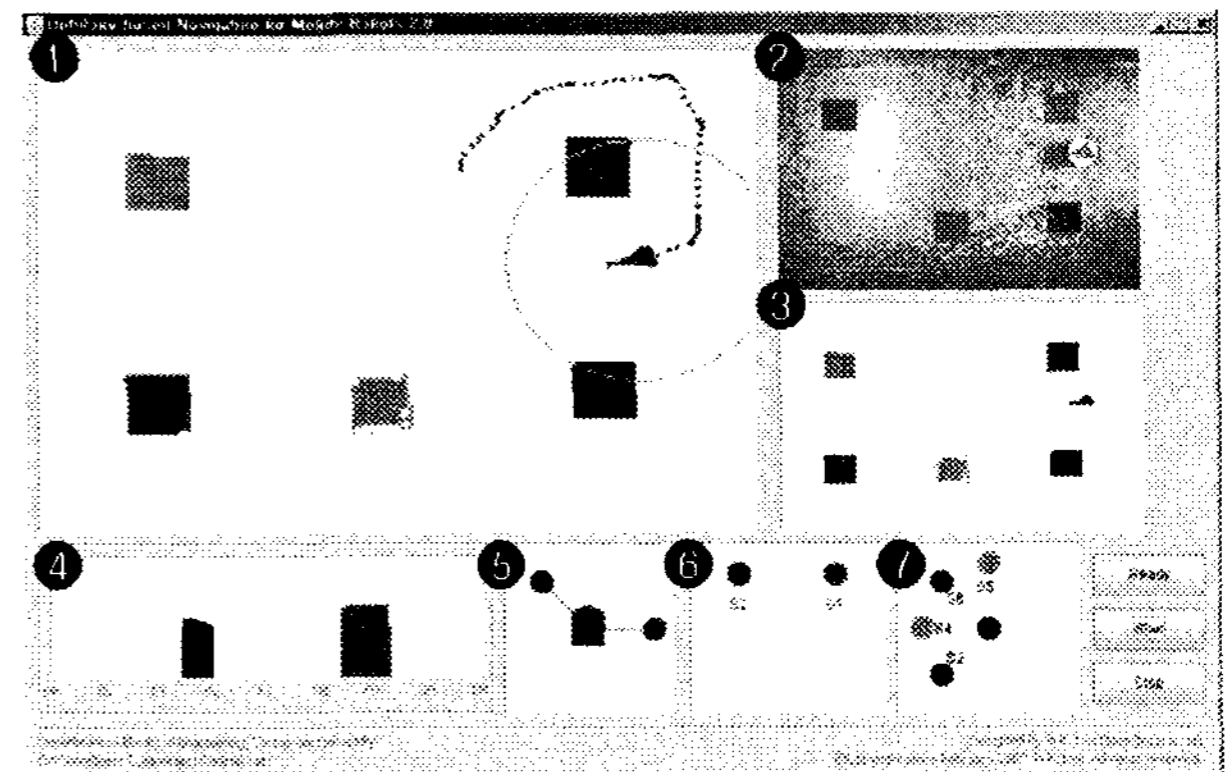
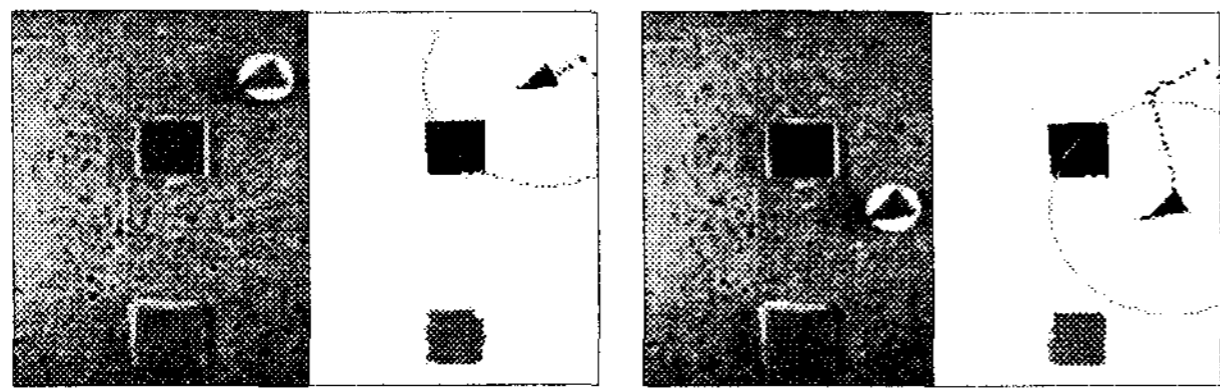


그림 8. 자율주행 로봇의 제어 실험 환경.

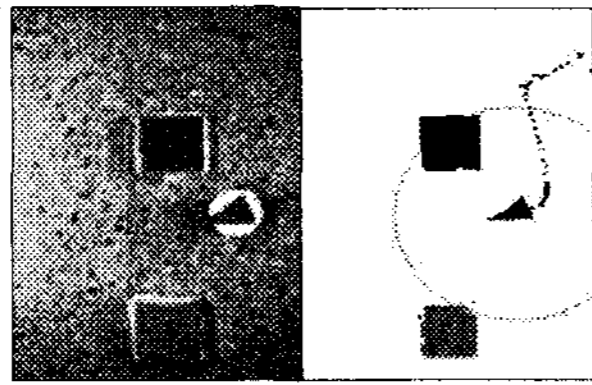
Fig. 8. Experimental environment for control of robots.

온톨로지 추론 과정을 확인하기 위하여 그림 9와같이 로봇의 주행 중의 몇 가지 상황에 대한 로봇 구동부의 모터 제어 값의 추론 결과를 표 3에 보인다. 예를 들어, 상황 (c)의 경우 부목표 장애물이 로봇의 진행 방향을 기준으로 '-45°'에 위치하고, 부목표와 로봇과의 거리가 '59'일 때, [Rule-1]을 이용한 온톨로지 추론을 통해 'left_motor'의 'positive_value'가 '0', '0.466', '0.533'를 얻는다. 그리고 'right_motor'의 'positive_value'는 '0.466', '0.533', 'negative_value'는 '0'의 출력 값을 얻었다. 이들 출력값에서 [Rule-2]와 [Rule-3]을 통해 구동부의 제어

값으로 'left_motor'는 '10', 'right_motor'는 '10'으로 로봇에게 전방 진행의 명령을 수행하였다.



(a)부목표:로봇의 전방 (b)부목표 코너



(c)새로운 부목표 발견
그림 9. 로봇의 주행 상황.

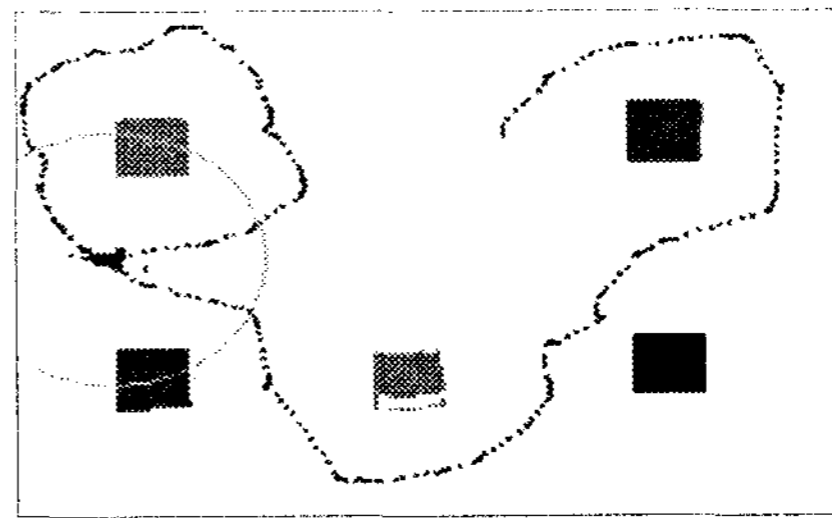
Fig. 9. Some cases on robot's navigation.

표 3. 상황별 로봇의 모터 제어 값.

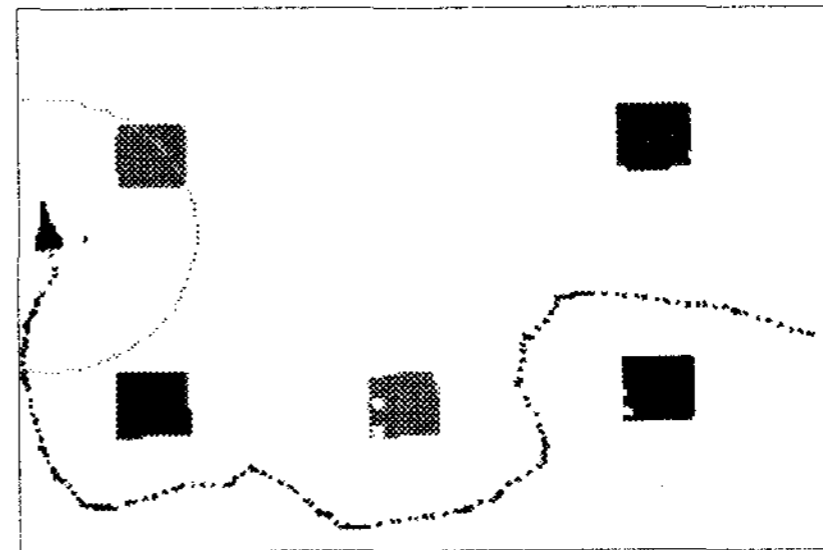
Table 3. Control values of robot's motors at each case.

cases	angle		output_value		motor_value
	distance	motor	property	value	
(a) 부목표:로봇의 전방	1°	left_motor	positive_value	0	10
			negative_value	0.533	
	60	right_motor	positive_value	0.466	10
			negative_value	0.533	
(b) 부목표 코너	117°	left_motor	positive_value	0	10
			negative_value	0.533	
	44	right_motor	zero_value	0	0
			positive_value	0.466	
(c) 새로운 부목표 발견	-45°	left_motor	positive_value	0	10
			negative_value	0.533	
	59	right_motor	positive_value	0.466	10
			negative_value	0.533	

본 실험에서는 로봇의 제어에 중점을 두었기에 복잡한 테스트 환경을 사용하지 않고, 단지 5개의 장애물로 로봇의 주행 환경을 구성하여 실험을 수행하였다. 그림 10은 그림 8②에서의 장애물 배치에서 우측 상단의 녹색 장애물을 목표로 로봇이 이동한 경로를 보인다. 실험 결과 로봇의 출발 위치에 따라 다양한 궤적으로 목표 장애물까지 이동함을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 10. 이동 로봇의 주행 궤적.

Fig. 10. Trajectories of a mobile robot.

5. 결론

본 논문에서는 자율주행 로봇이 센서를 통해 감지한 환경 정보를 온톨로지로 표현하고, 로봇 주변의 상황에 따른 국소 영역에서의 행동 계획과, 그에 따른 구동부의 제어를 온톨로지를 이용하여 구현하였다. 그리고 실제 자율주행 로봇에 적용하여 실세계 환경에서의 실험을 통해 온톨로지를 이용한 제어 방법을 검증하였다.

본 논문에서는 감지 정보의 온톨로지 표현과 온톨로지 추론에 의한 로봇의 제어에 중점을 두었기에, 단지 하나의 카메라만을 이용하여 로봇의 주변 정보를 획득하였다. 따라서 참고문헌 [1]에서 제시한 거리 센서와 영상 센서를 장착한 자율주행 로봇이 실제 환경에서의 주행 중 발생 가능한 문제를 극복하면서 목표점까지 이동할 수 있도록 하기 위한 자율주행 로봇의 구현에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 이인근, 서석태, 정혜천, 권순학, "온톨로지에 기반한 자율주행 로봇의 운항," 한국퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 제17권, 5호, pp. 626-631, 2007.
- [2] A. Konar, Artificial Intelligence and Soft Computing; Behavioral and Cognitive Modeling of the Human Brain, CRC Press, Boca Raton, 2000.
- [3] L.X. Wang, A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall Press, 1997.
- [4] Jena-A Semantic Web Framework for Java, <http://jena.sourceforge.net>.