

# 러프집합을 이용한 자율주행 로봇 위치인식의 애매성 축소

## Rough Set-based Ambiguity Reduction of Location Recognition for Autonomous Robots

이인근 · 손창식 · 권순학\*

In K. Lee, Chang S. Son, Soon H. Kwon

영남대학교 전기공학과

Department of Electrical Engineering at Yeungnam University

### 요 약

본 논문에서는 로봇이 획득한 정보가 내포하는 '장애물의 존재성'과 '장애물 사이의 연결성'이 위치인식에 효과적으로 사용될 수 있음을 러프집합을 이용하여 확인한다. 그리고 두 속성을 이용하여 위치인식의 애매성을 줄이고, 신뢰할 수 없는 환경 정보에서도 로봇의 위치 판단이 가능한 위치인식 방법을 제안한다. 로봇이 환경 정보를 축소하여 구성한 지도만으로도 목표점까지 이동하는 것을 모의실험을 통해 확인하였다.

키워드 : 러프집합, 위치인식, 자율주행 로봇, 경로 계획

### Abstract

In this paper, we confirm that the two properties, 'existence of obstacles' and 'connectivity between obstacles', involved in information acquired by a robot can be used efficiently for location recognition of the robot by using rough sets. Moreover, we propose a method which can reduce ambiguity of the location recognition by applying the properties and recognize the robot's location with distrustful information of the environment where the robot moves. We confirmed it through computer simulation that a robot moves to a goal with only the map containing not enough information on the real environment.

Key Words : rough set, location recognition, autonomous mobile robot, navigational planning

### 1. 서 론

로봇이 목표점까지의 이동 경로를 계획하기 위해서는 로봇의 현재 위치에 대한 인식이 필요하다. 로봇의 위치는 수치 기반의 다차원 좌표를 기준으로 하여 '(x, y, ...)'와 같이 표현하거나, 위치가 명확한 대상물을 기준으로 하여 'between A and B'와 같이 상대적으로 표현할 수 있다. 즉, 로봇이 주행할 환경에 존재하는 장애물의 위치 및 로봇의 주행 경로를 나타낸 수치적 좌표 기반의 다차원 지도에서는 GPS나 RFID를 이용하여 로봇의 정확한 위치를 인식할 수 있다[1-3]. 그러나 참고문헌 [4, 5]에서는 지도를 구성할 때 수치적 좌표가 아닌 중요 장애물들의 특징 정보와 장애물 간의 관계로 지도를 구성하였고, 영상 센서와 거리 센서를 이용하여 주변 장애물의 정보를 획득하였다. 그리고 로봇이 주행 중 획득한 장애물의 정보와 지도를 이용하여 로봇의 현재 위치를 인식하고 목표점까지 경로를 계획하였다.

로봇의 주행 과정에서 발생할 수 있는 모든 상황을 고려하여 지도를 만드는 것은 매우 어려운 문제라 할 수 있다. 따라서 일반적으로는 고정된 장애물의 정보만을 지도로 구성하여 사용한다. 그러나 지도가 환경의 전체 정보를 포함

하지 않은 경우, 로봇은 위치를 인식할 수 없는 상황이 발생할 수 있다. 즉, 지도에 나타낼 수 없는 이동 장애물의 정보나 지도에서 누락된 장애물이 로봇의 주행 환경에 존재할 경우, 참고문헌 [4,5]에서 제안한 위치인식 방법으로는 로봇의 정확한 위치를 추론하지 못하는 단점이 있다. 이와 같이 신뢰할 수 없는 외부 환경의 정보를 이용하여 로봇의 위치를 인식할 수 있도록 하기 위해서는, 첫째, 장애물의 속성만으로 장애물의 정체(identity)를 알 수 없는 상황에서 위치를 판단할 수 있고, 둘째, 지도에 나타나 있지 않은 장애물이 존재하더라도 로봇의 위치 판단이 가능한 위치인식 방법이 필요하다.

본 논문에서는 러프집합(rough sets)[6,7]을 이용하여 로봇이 주행 중에 획득한 장애물 정보를 효과적으로 활용할 수 있는 방법을 찾는다. 그 한 가지 방법으로서, 획득한 장애물 정보가 포함하고 있는 두 가지 성질인 '장애물의 존재성'과 '장애물 사이의 연결성'을 이용하여 위치인식의 애매성을 줄인다. 또한 지도에 포함되지 않은 장애물이 존재하는 동적 환경에서도 로봇의 위치 판단이 가능한 위치인식 방법을 제안한다.

1) 장애물의 속성과 장애물간의 관계만으로 환경 정보를 나타낸 지도를 참고문헌 [4]에서는 '언어지도', 참고문헌 [5]에서는 '지도 온톨로지'라고 한다. 이들은 정보의 표현 방법은 다르나 표현하는 정보의 개념은 동일하다. 그러므로 본 논문에서는 '지도 (map)'라는 이름을 사용한다.

접수일자 : 2008년 3월 19일

완료일자 : 2008년 6월 10일

\*Corresponding author

2. 러프집합을 이용한 로봇의 위치인식

로봇 주행 환경의 일부가 그림 1과 같이 구성되어 있다고 가정한다. 그리고 가상의 구역을 지정하여 그 구역을 'Ux={x1, x2, x3, x4, ...}'로 설정한다.

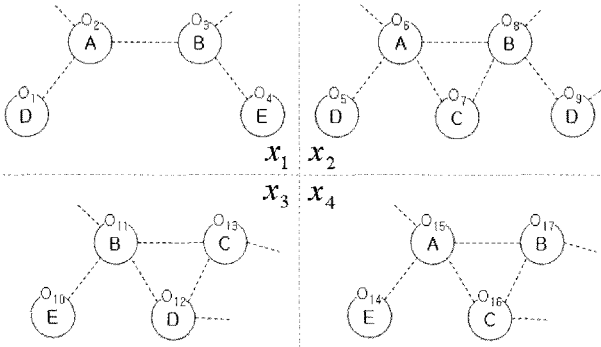
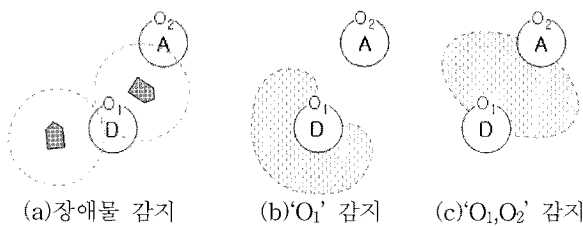


그림 1. 로봇 주행 환경의 가상 구역

Fig. 1. Virtual places of the environment where a robot moves

특정 장애물의 정체를 알기 위해서는 장애물의 특징을 나타내는 여러 가지 속성 정보를 이용할 수 있고, 장애물의 정체를 인식하면 로봇의 위치도 쉽게 판단할 수 있다. 따라서 여기에서는 장애물 정체 판단의 애매성을 높이기 위해 장애물의 색(color)에 대한 한 가지 속성만을 사용한다. 장애물의 색은 참고문헌 [5]의 퍼지 연산을 통해 11가지 색상(red, yellow, green, cyan, blue, magenta, black, dark-gray, gray, light-gray, white)으로 구분하고, 편의상 장애물의 속성 값을 'A, B, C, D, E, ...'로 나타내기로 한다. 그리고 장애물의 속성과 장애물 사이의 관계를 나타낸 지도에는 수치적 좌표 정보가 없으므로, 로봇이 '특정 장애물의 근처'에 존재한다거나, '두 장애물 사이'에 존재한다는 것으로 로봇의 위치를 장애물을 이용하여 간접적으로 표현할 수 있다. 따라서 장애물의 이름을 이용하여 로봇의 개념적인 위치를 표현한다.

표 1은 그림 1의 환경 정보를 'K=(U,A)'로 표현되는 '정보 시스템(information system)'[6,7]으로 나타낸 것이다. 표 1에서 위치 정보는 객체(objects)로 나타내고, 각 위치를 나타내는 장애물들의 색상은 속성(attributes)으로 한다. 예를 들어, 로봇의 감지 범위를 그림 2(a)의 점선으로 표시된 영역으로 제한할 때, 로봇이 장애물 'O1'을 감지할 수 있는 영역은 그림 2(b)에서 점선으로 표시한 부분이다. 따라서 이 영역을 표 1에서 객체 'O1'으로 나타낸다. 그리고 객체 'O1O2'는 그림 2(c)와같이 장애물 'O1'과 'O2'를 동시에 감지할 수 있는 영역을 의미한다.



(a)장애물 감지 (b)'O1' 감지 (c)'O1O2' 감지

그림 2. 장애물을 이용한 위치 표현

Fig. 2. Expression of locations by using obstacles

표 1. 환경에 대한 정보 시스템

Table 1. Information system of the environment

위치	속성		위치	속성	
	색	구역		색	구역
O1	D	x1	O2O1	AD	x1
O2	A		O2O3	AB	
O3	B		O3O4	BE	
O4	E		O6O5	AD	
O5	D		O6O7	AC	
O6	A	x2	O8O7	BC	x2
O7	C		O6O8	AB	
O8	B		O8O9	BD	
O9	D		O6O8O7	ABC	
O10	E	x3	O11O10	BE	x3
O11	B		O11O12	BD	
O12	D		O13O12	CD	
O13	C		O11O13	BC	
O14	E	x4	O11O13O12	BCD	x4
O15	A		O15O14	AE	
O16	C		O15O16	AC	
O17	B		O17O16	BC	
			O15O17	AB	
			O15O17O16	ABC	

표 1의 속성 값에 따라 '위치집합(P)'과 가상의 '구역집합(Vx)'을 정의한다. 예를 들어 'P(A)'는 속성 값이 'A'인 객체의 집합이고, 'Vx(A)'는 속성 값이 'A'인 장애물이 존재하는 가상 구역의 집합으로써, 'P(A)={O2, O6, O15}'와 'Vx(A)={x1, x2, x4}'와 같다.

$$P(a) = \{x | x \in U, a \in A_{color}\}$$

$$V_x(c) = \{x | x \in A_{area}, c \in A_{color}\}$$

로봇이 구역 'x1'에서 그림 3의 점선 궤적으로 이동하면서 획득한 순차패턴<sup>2)</sup>이 'D→DA→AB→BE'와 같고, 이 정보를 순차적으로 로봇의 기억장치에 저장하였다고 가정한다. 그리고 기억장치에 저장된 순차패턴으로부터 로봇이 실제 어느 구역에 있는지를 판단하고자 한다. 이때, 로봇이 획득한 정보의 이용 방법에 따라 위치 판단의 애매성 정도가 달라진다.

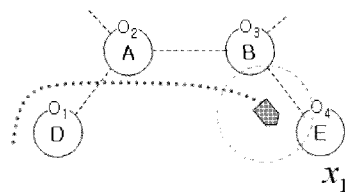


그림 3. 구역 'x1'에서의 로봇의 이동

Fig. 3. Movement of a robot within area 'x1'

표 2는 그림 3에서 로봇이 획득한 순차패턴으로 위치를 인식하는 것을 표현한 것이다. 로봇이 장애물 'O1'로부터 획득한

2) 본 논문에서는 로봇이 이동하면서 획득한 장애물의 속성 정보를 순차적으로 기록한 것을 '순차패턴(sequence pattern)'이라고 정의한다. 또한, 특정 위치에서 획득한 장애물의 속성 정보를 '속성패턴(attribute pattern)'이라고 정의한다.

특한 속성패턴이 'D'일 때, 속성 'D'가 존재하는 구역은 'x1, x2, x3'로서 로봇이 위치인식에 고려할 구역이 줄어들게 된다. 이것이 '장애물의 존재성'을 이용한 것이다. 그리고 로봇이 이동하면서 획득한 순차패턴 'D→DA→AB→BE'에서 로봇이 경유한 장애물의 속성 순서가 'D→A→B→E'임을 알 수 있는데, 이와 같은 속성과 연결성을 가진 장애물 패턴은 'O<sub>1</sub>→O<sub>2</sub>→O<sub>3</sub>→O<sub>4</sub>'이고, 이들이 존재하는 구역은 'x1' 뿐이다. 이것이 로봇의 위치인식을 위해 '장애물 사이의 연결성' 정보를 이용한 것이다. 따라서 2장에서 순차패턴이 내포하는 '장애물의 존재성'과 '장애물 사이의 연결성'이 로봇의 위치인식을 위한 중요한 성질임을 러프집합을 이용하여 확인한다.

표 2. 로봇의 위치인식 예  
Table 2. An example of location recognition of a robot

순차패턴	장애물 후보	구역 후보
D	O <sub>1</sub>	x1
	O <sub>5</sub> , O <sub>9</sub>	x2
	O <sub>12</sub>	x3
D→AD	O <sub>1</sub> →O <sub>2</sub>	x1
	O <sub>5</sub> →O <sub>6</sub>	x2
D→AD→AB	O <sub>1</sub> →O <sub>2</sub> →O <sub>3</sub>	x1
	O <sub>5</sub> →O <sub>6</sub> →O <sub>8</sub>	x2
D→AD→AB→BE	O <sub>1</sub> →O <sub>2</sub> →O <sub>3</sub> →O <sub>4</sub>	x1

2.1 장애물의 존재성

순차패턴이 생성되기까지 각 단계에서의 속성패턴과 로봇의 위치와의 관계를 표 3의 '속성패턴에 대한 정보 시스템'을 구성하여 분석하고자 한다. 표 3은 가상의 구역을 객체, 로봇이 획득한 장애물 속성을 조건부 속성(condition attributes), 그리고 가상 구역에서의 실제 로봇의 존재 여부를 의사 결정부 속성(decision attributes)으로 나타낸다. 각 속성 값은, 특정 속성패턴이 구역 'xn'에 존재하면 '1', 존재하지 않으면 '0'으로 표기한다. 그리고 의사 결정부 속성 값은 실제 로봇이 위치한 구역(R.P.)을 '1', 그렇지 않은 구역을 '0'으로 표기한다. 그리고 'X={x|R.P.(x)=1}'로 정의하고, 임의의 순차패턴에서의 R-상한근사( $\overline{RX}$ )와 R-하한근사( $\underline{RX}$ ), R-경계영역( $BN_R(X)$ )을 구한다. 각 정보 시스템의 리덕트( $RED(R)$ ) 추출을 위해 참고문헌 [8]의 식별가능행렬을 이용한다.

표 3(a)~(c)는 R-경계영역으로 둘 이상의 구역이 존재하는데, 이들 정보 시스템으로는 로봇의 정확한 위치를 판단할 수 없다는 의미이다. 즉, 표 3(c)에서 로봇의 위치가 'x1'인지 'x2'인지 구분할 수 없다. 그러나 표 3(d)에서는 R-상·하한근사가 '{x1}'으로 로봇의 위치가 정확하게 파악되며, 리덕트는 '{AD, BE}'와 '{AB, BE}'로써 리덕트의 속성패턴만으로 로봇의 위치의 판단이 가능하다. 여기서 'x1'의 경우 리덕트의 모든 속성 값이 '1'이고, 다른 객체의 경우 리덕트의 속성 중 하나 이상의 속성 값이 '0'임을 알 수 있다. 이는 로봇의 위치를 판별할 때 하나 이상의 속성 값이 '0'이라면 이 구역에는 로봇이 존재하지 않음을 의미하는 것으로써, 로봇이 감지한 속성패턴의 존재성을 위치 판단에 활용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

로봇이 감지한 속성패턴으로부터 '장애물의 존재성'을 이용하여 그 속성패턴에 부합하는 위치후보들을 선정할 수 있으며<sup>3)</sup>, 그 후보들로부터 가능한 조합을 생성하여 로봇이 실

제 어떤 장애물을 경유하여 왔는지를 판단한다. 예를 들어 'D→AD→AB→BE'의 순차패턴에서 각 속성패턴과 일치하는 속성의 위치 후보만을 선택하고, 위치 후보들의 조합을 통해 'O<sub>1</sub>→O<sub>2</sub>O<sub>1</sub>→O<sub>2</sub>O<sub>3</sub>→O<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'와 같은 로봇의 이동 경로 후보를 생성할 수 있다. 로봇의 이동 경로 후보의 개수는 ' $n(P(D)) \times n(P(AD)) \times n(P(AB)) \times n(P(BE)) = 48$ '이다. 여기서 ' $n(P(D))$ '는 ' $P(D)$ '의 원소 개수를 의미한다.

표 3. 속성패턴에 대한 정보 시스템  
Table 3. Information systems according to attribute patterns

(a)D					(b)D→AD						
구역	D	R.P.	구역	D	AD	R.P.	구역	D	AD	R.P.	
x1	1	1	x1	1	1	1	x1	1	1	1	
x2	1	0	x2	1	1	0	x2	1	1	0	
x3	1	0	x3	1	0	0	x3	1	0	0	
x4	0	0	x4	0	0	0	x4	0	0	0	
$\overline{RX} = \emptyset$					$\overline{RX} = \emptyset$						
$\underline{RX} = \{x1, x2, x3\}$					$\underline{RX} = \{x1, x2\}$						
$BN_R(X) = \{x1, x2, x3\}$					$BN_R(X) = \{x1, x2\}$						
$RED(R) = \{D\}$					$RED(R) = \{AD\}$						
(c)D→AD→AB						(d)D→AD→AB→BE					
구역	D	AD	AB	R.P.	구역	D	AD	AB	BE	R.P.	
x1	1	1	1	1	x1	1	1	1	1	1	
x2	1	1	1	0	x2	1	1	1	0	0	
x3	1	0	0	0	x3	1	0	0	1	0	
x4	0	0	1	0	x4	0	0	1	0	0	
$\overline{RX} = \emptyset$						$\overline{RX} = \{x1\}$					
$\underline{RX} = \{x1, x2\}$						$\underline{RX} = \{x1\}$					
$BN_R(X) = \{x1, x2\}$						$BN_R(X) = \emptyset$					
$RED(R) = \{AD\}$						$RED(R) = \{AB, BE\}$					
$RED(R) = \{D, AD\}$						$RED(R) = \{AD, BE\}$					

2.2 장애물 사이의 연결성

'장애물의 존재성'을 이용하여 로봇의 경로 후보를 생성하였다 하더라도, 로봇의 위치 판단의 애매성은 여전히 크게 남아있다. 예를 들어, 그림 1의 가상의 구역(x1, x2, x3, x4) 외에도 그림 4와같이 제 5의 구역(x5)이 존재한다고 가정한다. 그리고 표 1에 표 4를 추가하여 '환경에 대한 정보 시스템'을 확장한다.

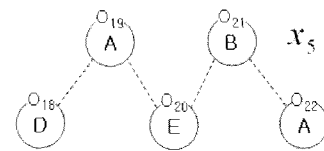


그림 4. 제 5의 구역  
Fig. 4. The 5th area

표 5는 제 5구역이 추가된 '환경에 대한 정보 시스템'을 기반으로 표 3(d)의 확장하여 '속성패턴에 대한 정보 시스템'을 구성한다.

3) '로봇이 감지한 속성패턴'은 특정 위치에서 로봇의 주변에 있는 장애물의 속성 값들을 의미하며, '위치후보'는 지도에서 장애물의 속성 값과 일치하는 장애물들로 구성된 위치집합(예:  $P(A)$ ,  $P(AB)$ )을 의미한다.

템'을 구성한 것이다. 표 5에서 보듯이 'D→DA→AB→BE'의 순차패턴에 대해 '장애물의 존재성'만으로는 구역 'x1'과 'x5'를 구분하지 못한다. 따라서 이웃한 속성패턴 사이의 연결성 정보를 이용하여 애매성을 줄일 수 있음을 보인다.

표 4 환경에 대한 정보 시스템: 제 5구역 추가  
Table 4. Information system of the environment: addition of the 5th area

위치	속성		위치	속성	
	색	구역		색	구역
O <sub>18</sub>	D		O <sub>19</sub> , O <sub>18</sub>	AD	
O <sub>19</sub>	A		O <sub>19</sub> , O <sub>20</sub>	AE	x5
O <sub>20</sub>	E	x5	O <sub>21</sub> , O <sub>20</sub>	BE	
O <sub>21</sub>	B		O <sub>22</sub> , O <sub>21</sub>	AB	
O <sub>22</sub>	A				

표 5. 속성패턴에 대한 정보 시스템: 제 5구역 추가  
Table 5. Information system according to the attribute pattern: addition of the 5th area

구역	D	AD	AB	BE	R.P.
x1	1	1	1	1	1
		...			
x5	1	1	1	1	0

$\overline{RX} = \emptyset$   
 $RX = \{x1, x5\}$   
 $BN_R(X) = \{x1, x5\}$   
 $RED(R) = \{AB, BE\}$   
 $RED(R) = \{AD, BE\}$

순차패턴에서 이웃한 속성패턴간의 연결성 정보를 표현하는 표 6의 '순차 패턴에 대한 정보 시스템'을 아래와 같은 규칙을 적용하여 생성한다.

[Rule 1] 조건부 속성은 근접한 속성패턴 사이에 중복되는 속성을 제거하여 표현한다. 단 속성 값은 각 구역에서 동일한 속성간의 연결성이 존재하는 경우 '1', 그렇지 않은 경우를 '0'으로 한다.

[Rule 2] 속성패턴의 존재 유무로 위치의 애매성을 줄이는 것과 같이, 연결성 정보가 '0'인 경우는 후보의 가능성이 매우 낮다고 판단된다. 따라서 속성패턴간의 연결성이 '0'인 경우에는 그 이후에도 모두 '0'으로 한다.

[Rule 3] 속성패턴의 구성이 3개 이상일 경우에는 앞·뒤의 속성패턴을 고려하여 조건부 속성을 생성한다.

그리고 순차패턴 'D→DA→AB→BE'에 대해 위의 규칙을 적용하여 생성되는 조건부 속성의 연결성은 'D→A→C→B→E'와 같다.<sup>4)</sup>

표 5에서 '장애물의 존재성'만으로는 구분할 수 없었던 구역 'x1'과 'x5'를 표 6(d)에서 인접한 속성패턴 사이의 연결성을 이용하여 구분할 수 있음을 알 수 있다. 'RED(R) = {E}'에서 속성 'E'는 'D→A→B→E'의 연결성 정보의 의미를 내포하고 있다. 따라서 지도상에 순차패턴과 동일한 속성과 관계의 장애물들이 존재하지 않는다면, '장애물 사이의 연결성'을 이용하여 위치 판단의 애매성을 크게 줄일 수 있음을 알 수 있다.

순차패턴 연결성 정보를 이용하여 표 1과 표 6의 위치 정보로부터 로봇의 이동 경로를 분석하면 다음과 같다. 각 '장애물의 존재성'에 의해서 추출한 속성패턴에 대한 위치

후보가 표 7의 '\*'와 같고, 위치 후보들의 조합으로 총 180개의 경로가 생성 가능하다. 이 경로들 중 '장애물 사이의 연결성'이 존재하지 않는 경우, 즉, 이웃한 속성패턴에서 장애물 속성은 동일하나 장애물의 정체가 다른 경우에는 속성패턴의 연결성이 없다고 판단하고 그 경로를 후보에서 제거한다. 표 7에 나타난 경로 후보에서 연결성이 없는 속성패턴의 장애물들을 '/'로 표시하였다. 그 결과 첫 번째 경로만이 최종 후보로 선택되고, 로봇이 현재 'O<sub>3</sub>'와 'O<sub>4</sub>' 사이에 존재한다고 판단할 수 있다.

표 6. 순차패턴에 대한 정보 시스템  
Table 6. Information systems according to sequence patterns

(a)D					(b)D→AD				
구역	D	R.P.	구역	D	A	R.P.			
x1	1	1	x1	1	1	1			
x2	1	0	x2	1	1	0			
x3	1	0	x3	1	0	0			
x4	0	0	x4	0	0	0			
x5	1	0	x5	1	1	0			

$\overline{RX} = \emptyset$   
 $RX = \{x1, x2, x3, x5\}$   
 $BN_R(X) = \{x1, x2, x3, x5\}$   
 $RED(R) = \{D\}$

(c)D→AD→AB					(d)D→AD→AB→BE					
구역	D	A	B	R.P.	구역	D	A	B	E	R.P.
x1	1	1	1	1	x1	1	1	1	1	1
x2	1	1	1	0	x2	1	1	1	0	0
x3	1	0	0	0	x3	1	0	0	0	0
x4	0	0	0	0	x4	0	0	0	0	0
x5	1	1	0	0	x5	1	1	0	0	0

$\overline{RX} = \emptyset$   
 $RX = \{x1, x2\}$   
 $BN_R(X) = \{x1, x2\}$   
 $RED(R) = \{A, B\}$

$\overline{RX} = \{x1\}$   
 $RX = \{x1\}$   
 $BN_R(X) = \emptyset$   
 $RED(R) = \{E\}$

표 7. 장애물 사이의 연결성을 이용한 로봇의 위치인식  
Table 7. Recognition of robot's location by using the connectivity between obstacles

번호	D	AD	AB	BE	연결성
1	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub> , O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> , O <sub>4</sub>	1
2	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub> , O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub> , O <sub>10</sub>	0
3~178		...			all 0
179	O <sub>19</sub>	O <sub>18</sub> , O <sub>18</sub>	O <sub>21</sub> , O <sub>22</sub>	O <sub>11</sub> , O <sub>10</sub>	0
180	O <sub>19</sub>	O <sub>18</sub> , O <sub>18</sub>	O <sub>21</sub> , O <sub>22</sub>	O <sub>21</sub> , O <sub>20</sub>	0

- \* P(D) = {O<sub>1</sub>, O<sub>5</sub>, O<sub>9</sub>, O<sub>12</sub>, O<sub>19</sub>}
- P(AD) = {(O<sub>2</sub>, O<sub>1</sub>), (O<sub>6</sub>, O<sub>5</sub>), (O<sub>19</sub>, O<sub>18</sub>)}
- P(AB) = {(O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>), (O<sub>6</sub>, O<sub>9</sub>), (O<sub>15</sub>, O<sub>17</sub>), (O<sub>21</sub>, O<sub>22</sub>)}
- P(BE) = {(O<sub>3</sub>, O<sub>4</sub>), (O<sub>11</sub>, O<sub>10</sub>), (O<sub>21</sub>, O<sub>20</sub>)}

4) 엄밀히 말하면, 속성패턴은 'D→AD→A→AC→ABC→BC→B→BE'와 같지만, 편의를 위해 'D→DA→ABC→BE'로 함축하여 사용한다. 속성패턴을 함축한다 하더라도 '순차패턴에 대한 정보 시스템'의 조건부 속성은 함축하기 전의 속성패턴과 동일하게 'D→A→C→B→E'로 생성된다.

### 3. 동적 환경에서의 위치인식

로봇의 주행 환경은 모든 장애물 정보를 지도에 표현한 정적 환경과 지도에 포함되지 않은 장애물이 존재하는 동적 환경으로 구분할 수 있다. 정적 환경에서는 로봇이 획득하는 로봇 주변의 장애물 정보로부터 로봇의 정확한 위치를 판단할 수 있으나, 동적 환경에서는 새롭게 생성된 고정 장애물이나 이동 장애물과 같이 지도에 표현되지 않은 장애물들로 인해 로봇의 위치 판단에 혼란이 발생할 수 있다. 예를 들어, 그림 5에서 'x1' 구역에 지도에 나타나 있지 않은 임의의 장애물이 있을 경우, 표 8과같이 로봇은 '장애물의 존재성'과 '장애물 사이의 연결성'에 의해 'D→DA→ABC'까지는 로봇의 위치를 'x2'로 인식하다가, 'BE'에서는 로봇의 위치를 판단하지 못하게 된다.

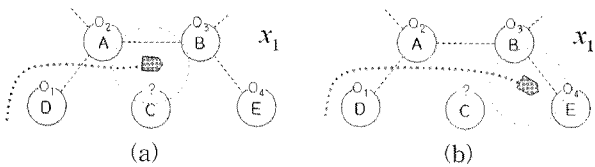
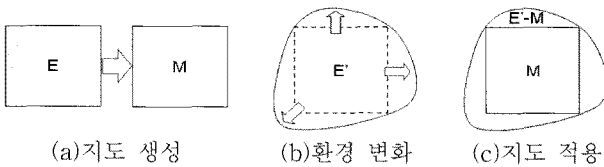


그림 5. 미확인 장애물의 발견

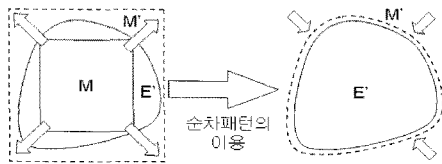
Fig. 5. Detection of an unidentified obstacle

표 8. 미확인 장애물 발견 시 로봇의 위치인식  
Table 8. Recognition of robot's location when unidentified obstacles are detected

(a) D→AD→ABC						(b) D→AD→ABC→BE						
구역	D	A	B	E	R.P.	구역	D	A	C	B	E	R.P.
x1	1	1	0	0	1	x1	1	1	0	0	0	1
x2	1	1	1	1	0	x2	1	1	1	1	0	0
...	all 0					...	all 0					



(a)지도 생성 (b)환경 변화 (c)지도 적용



(d)지도 정보의 확장과 축소를 통한 애매성 축소

그림 6. 환경과 지도의 개념적 관계

Fig. 6. Conceptual relations between environment and maps

로봇의 주행 환경이 그림 6(a)의 'E'와 같이 구성되어 있을 때 주행 환경의 정보를 'M'의 지도로 표현함으로써 이동 로봇은 지도를 이용하여 자신의 위치를 추론할 수 있게 된다. 그러나 그림 6(b)와같이 주행 환경이 'E→E''로 변화하였을 경우, 기존 환경에 대한 지도 'M' 만으로는 변화된 환경에서의 상황에 대처할 수 없다. 즉, 그림 6(c)와같이 지도가 표현하지 못하는 영역 '(E'-M)'이 존재함으로써 로봇이

위치인식에 실패하여 혼란에 빠지게 된다. 이 문제의 원인은 '로봇의 지도 정보가 정확하다'고 가정하고 로봇의 위치를 인식하려 하기 때문이다. 따라서 변화하는 환경에서의 위치인식의 오류를 피하기 위해서는 로봇의 지도 정보가 정확하다는 가정을 배제하고, 로봇은 주행 환경에 대한 일부 정보만을 이용하여 자신의 위치를 판단해야 한다.

이 문제를 해결하기 위해 지도 정보의 확장과 축소를 통한 애매성 축소 방법을 제안한다. 제안한 방법은 로봇이 획득한 정보를 기반으로 그림 6(d)와같이 지도의 정보를 최대한 확장하고, '장애물의 존재성'과 '장애물 사이의 관계성'을 이용하여 애매성을 줄여나감으로써 로봇의 위치를 인식한다. 예를 들어 그림 5의 상황에서 로봇이 3개의 장애물을 감지하여 속성패턴 'ABC'를 획득한 경우, 로봇이 'ABC'의 속성패턴에서 'A'만이 지도에 표현된 장애물일 수 있고, 또는 'AB'가 지도에 표현될 수 있으므로, 로봇은 자신이 감지한 장애물의 정보를 신뢰하지 않는다. 따라서 로봇이 획득한 순차패턴에서 각 속성패턴의 속성에 대한 멱집합(power set)을 생성하고, 이들을 조합하여 새로운 순차패턴을 생성한다. 예를 들어, 순차패턴이 'D→DA→ABC→BE'인 경우 각 속성패턴의 속성에 대한 멱집합은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 PS(D) &= \{\emptyset, \{D\}\} \\
 PS(A, D) &= \{\emptyset, \{A\}, \{D\}, \{A, D\}\} \\
 PS(A, B, C) &= \{\emptyset, \{A\}, \{B\}, \{C\}, \{A, B\}, \{B, C\}, \{A, C\}, \{A, B, C\}\} \\
 PS(B, E) &= \{\emptyset, \{B\}, \{E\}, \{B, E\}\}
 \end{aligned}$$

멱집합의 조합으로 생성 가능한 순차패턴은 총  $2^1 \times 2^2 \times 2^3 \times 2^2 = 256$  이다. 그리고 256개의 순차패턴에서 '장애물 사이의 연결성'으로 표 9와같이 4개의 순차패턴이 선택된다.

표 9. 동적 환경에서의 순차패턴 후보

Table 9. Candidates of sequence patterns in dynamic environment

번호	sequence pattern
1	D→AD→AB→B
2	D→AD→AB→BE
3	D→AD→ABC→B
4	D→AD→ABC→BE

선택된 4개의 순차패턴 각각에 대한 정보 시스템을 표 10과같이 구성하고, '장애물의 존재성'과 '장애물 사이의 연결성'을 이용하여 위치를 인식한다. 위치인식 결과 표 10(a)~(c)의 순차패턴에 대해서는 로봇의 위치를 'x1'이나 'x2'로 인식하였고, 표 10(d)의 순차패턴에 대해서는 위치를 판단하지 못하였다. 따라서 그림 5의 상황에서 로봇이 위치할 가능성이 높은 구역은 'x1'과 'x2'임을 알 수 있다.

로봇이 지도로부터 확인할 수 없는 장애물을 감지하였을 경우, '장애물의 존재성'과 '장애물 사이의 연관성'을 이용하여 위치인식의 애매성을 완전히 해소할 수는 없다. 그러나 미확인 장애물로 인해 위치 판단을 할 수 없는 상황에서도 지도 정보의 확장과 축소를 통해 'x1'의 구역이 위치의 후보로 선택됨을 알 수 있다. 비록 정확한 위치인식이 이루어지지 않았다 하더라도, 로봇이 주행 중에 더 많은 정보를 획득함으로써 애매성을 줄여나갈 수 있다.

표 10. 동적 환경에서의 위치인식 결과

Table 10. Results of recognition of location in dynamic environment

(a) D → AD → AB → B				(b) D → AD → AB → BE				
구역	D	A	B	구역	D	A	B	E
x1	1	1	1	x1	1	1	1	1
x2	1	1	1	x2	1	1	1	0
x3	1	0	0	x3	1	0	0	0
x4	0	0	0	x4	0	0	0	0
x5	1	1	0	x5	1	1	0	0

*Result* = x1 or x2                      *Result* = x1

(c) D → AD → ABC → B					(d) D → AD → ABC → BE					
구역	D	A	C	B	구역	D	A	C	B	E
x1	1	1	0	0	x1	1	1	0	0	0
x2	1	1	1	1	x2	1	1	1	1	0
x3	1	0	0	0	x3	1	0	0	0	0
x4	0	0	0	0	x4	0	0	0	0	0
x5	1	1	0	0	x5	1	1	0	0	0

*Result* = x2                                      *Result* = -

#### 4. 모의실험

컴퓨터 모의실험을 위해 그림 7과 같이 8가지의 색상 속성(red, green, blue, magenta, cyan, dark-gray, gray, light-gray)을 가진 총 16개의 장애물을 장애물 'O<sub>8</sub>'을 기준으로 대칭되도록 배치하였다. 즉, 로봇의 주행 환경을 대칭으로 구성하여 로봇의 위치인식에 혼란을 야기하도록 함으로써 로봇이 주행 과정에서 잘못된 위치 판단을 유도하고, 또한 로봇이 주행 과정에서 위치 판단의 오류를 수정하며 목표점으로 이동하는지를 확인하기 위함이다. 로봇은 장애물 'O<sub>1</sub>'의 좌측 상단 지점에서 출발하여 'O<sub>16</sub>'을 목표점으로 하여 주행하도록 하였다. 여기서 로봇 주위의 원형으로 표시된 영역은 로봇의 감지 범위이다.

모의실험에서는 로봇의 주행 환경의 지도 구성 방법과 주행 알고리즘에 따른 로봇의 주행 과정을 비교한다. 즉, 로봇이 (i) 모든 장애물 정보를 정확하게 지도로 구성한 경우와 (ii) 주행 환경에 존재하는 일부 장애물 정보만을 지도로 구성한 경우에 대해 참고문헌 [4, 5]에서 제안한 자율주행 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘에 기반한 로봇의 자율주행 모의실험을 수행한다.

그림 7은 로봇의 주행 환경에 존재하는 모든 장애물의 정보를 정확하게 지도로 구성한 경우의 기존의 자율주행 알고리즘과 제안한 알고리즘에 대한 로봇 주행 궤적을 보인다. 그림 7(a)에서는 로봇이 장애물 'O<sub>5</sub>'와 'O<sub>11</sub>'을 혼동하여 잠시 방향하였으나 곧 위치를 정확하게 인식하고 목표점까지 이동하였다. 그림 7(b)에서는 위치인식의 혼란 없이 목표점까지 잘 주행하였다.

그림 8은 로봇의 주행 환경에 존재하는 일부 장애물의 정보(O<sub>1</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>6</sub>, O<sub>9</sub>, O<sub>11</sub>, O<sub>12</sub>, O<sub>14</sub>, O<sub>16</sub>)만을 나타낸 지도에서 기존의 알고리즘에 기반한 로봇의 주행 궤적을 보인다. 여기에서 로봇은 'O<sub>1</sub>→O<sub>3</sub>'까지는 잘 이동하였다. 그러나 장애물 'O<sub>3</sub>'와 지도에 나타나지 않은 'magenta' 속성의 장애물을 동시에 감지한 순간 로봇은 서로 인접한 'light-gray'와 'magenta' 속성의 장애물 정보를 지도에서 찾을 수 없게 되고, 결국 로봇은 위치를 판단하지 못하고 방향하는 모습을

확인할 수 있었다.

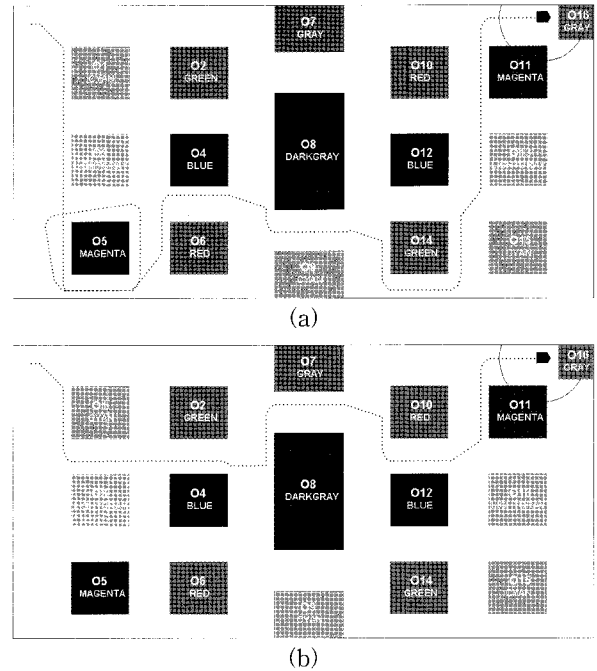


그림 7. 정확한 지도에서 로봇의 주행  
Fig. 7. Navigation of a robot with an precise map

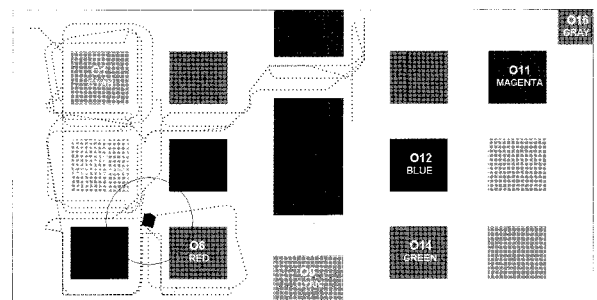


그림 8. 부정확한 지도에서 기존의 자율주행 알고리즘에 기반한 로봇의 주행  
Fig. 8. Navigation of a robot with an imprecise map based on the previous algorithm

그림 9는 로봇의 주행 환경에 존재하는 일부 장애물의 정보만을 나타낸 지도에서 제안한 알고리즘에 기반한 로봇의 주행 궤적을 보인다. 그림 9(a)에서는 미확인 장애물로 인해 로봇이 위치인식에 많은 혼란이 발생하였음을 알 수 있다. 그러나 주행 중 획득한 순차패턴을 이용하여 위치를 정확하게 인식하고 목표점까지 주행하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 그림 9(b)에서는 지도에 표현된 장애물들만을 인식하면서 혼란 없이 목표점까지 주행하였다.

표 11은 그림 9(a)의 실험 과정에서 로봇이 획득한 속성 패턴에 대한 위치후보와 위치인식 결과, 그리고 목표점까지의 경로계획을 보인다. 로봇이 처음 감지한 장애물의 속성 패턴이 'C'인 경우, 로봇은 지도로부터 속성 값이 'C'인 장애물 후보로써 'O<sub>1</sub>'과 'O<sub>9</sub>'를 후보로 선정하였다. 우선 로봇은 이들 두 후보 중 'O<sub>9</sub>'의 후보를 임의 선택하고 경로를 계획한 후 주행을 시작하였다.

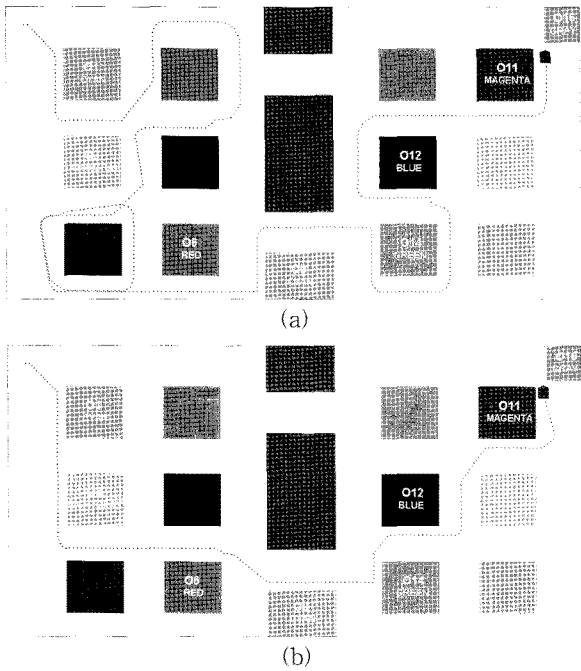


그림 9. 부정확한 지도에서 제안한 알고리즘에 기반한 로봇의 주행

Fig. 9. Navigation of a robot with an imprecise map based on the proposed algorithm

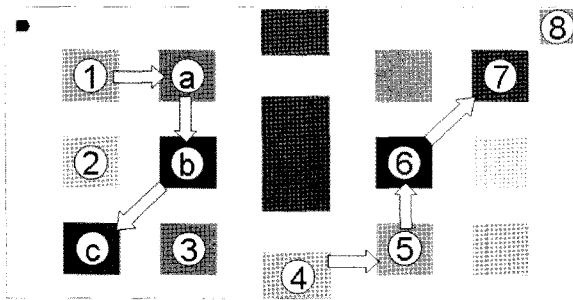


그림 10. 대칭적 장애물의 배치에 의한 로봇의 혼동

Fig. 10. Confusion of a robot by the obstacles placed symmetrically

1~17단계까지 로봇은 그림 10에서 '①→a→b→c'의 경로로 이동하는 과정에서, 장애물 사이의 관계가 유사한 '④→⑤→⑥→⑦'의 경로로 이동하고 있다는 판단으로 주행을 지속하였다. 그러나 목표 장애물 '⑧(O<sub>16</sub>)'을 찾기 위해 'c'를 탐색하는 과정에서 14~17단계에서 획득한 속성패턴과 20~23단계에서 획득한 속성패턴이 동일하므로, 'c' 주변에는 목표 장애물 '⑧(O<sub>16</sub>)'이 없다는 판단을 하게 된다. 따라서 잘못된 위치 판단을 수정하고 23단계에서 새로운 경로를 생성하는 것을 확인할 수 있었다. 표 11에서 회색 배경은 현재의 위치로 선택된 위치후보를 의미한다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 러프집합을 이용하여 로봇이 획득한 정보가 포함하고 있는 두 가지 성질인 '장애물의 존재성'과 '장

표 11. 동적 환경에서의 실험 결과 데이터

Table 11. Experimental result data in dynamic environment

단계	속성패턴	패턴후보	위치후보	경로 계획
1	C	C	O <sub>1</sub>	
		C	O <sub>9</sub>	
2	CL	CL	O <sub>1</sub> O <sub>3</sub>	O <sub>9</sub> →O <sub>14</sub> →O <sub>12</sub> →O <sub>11</sub> →
		C	O <sub>9</sub>	O <sub>16</sub>
		CG	O <sub>9</sub> O <sub>14</sub>	
3	CLBG	BG	O <sub>14</sub> O <sub>12</sub>	
		CL	O <sub>1</sub> O <sub>3</sub>	
		CG	O <sub>9</sub> O <sub>14</sub>	
4	CBG	BG	O <sub>14</sub> O <sub>12</sub>	
		C	O <sub>1</sub>	
		CG	O <sub>9</sub> O <sub>14</sub>	
5	CG	C	O <sub>1</sub>	O <sub>14</sub> →O <sub>12</sub> →O <sub>11</sub> →O <sub>16</sub>
6	G	G	O <sub>14</sub>	
7	GYB	GB	O <sub>12</sub> O <sub>14</sub>	
8	GB	GB	O <sub>12</sub> O <sub>14</sub>	
...				
14	BLMR	BM	O <sub>12</sub> O <sub>11</sub>	
		RL	O <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	
15	ML	M	O <sub>11</sub>	O <sub>11</sub> →O <sub>16</sub>
		L	O <sub>3</sub>	
16	M	M	O <sub>11</sub>	
17	MR	M	O <sub>11</sub>	
		R	O <sub>6</sub>	
...				
20	MRBL	MB	O <sub>11</sub> O <sub>12</sub>	
		LR	O <sub>3</sub> O <sub>6</sub>	
21	ML	M	O <sub>11</sub>	O <sub>11</sub> →O <sub>16</sub>
		L	O <sub>3</sub>	
22	M	M	O <sub>11</sub>	
23	MR	M	O <sub>11</sub>	O <sub>6</sub> →O <sub>9</sub> →O <sub>14</sub> →O <sub>12</sub> →
		R	O <sub>6</sub>	O <sub>11</sub> →O <sub>16</sub>
24	R	R	O <sub>6</sub>	
...				

\* R:red, G:green, B:blue, C:cyan, M:magenta, L:lightgray  
Y:gray, B:black

애물 사이의 연결성'이 위치인식에 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하였다. 또한 지도에 포함되지 않는 장애물이 존재하는 동적 환경에서도 위치 판단이 가능한 위치인식 방법을 제안하였다. 그리고 환경 정보를 축소하여 구성한 지도를 이용하더라도 위치인식과 목표점까지의 경로 계획이 가능함을 실험을 통해 확인하였다. 환경 정보가 많이 손실된 지도로는 로봇의 현재 위치는 물론 목표점이 어디인지조차 알 수 없는 경우가 있다. 즉, 환경 정보를 표현한 지도의 범위를 객관적으로 규정하기는 쉽지 않은 문제이므로 본 논문에서는 지도의 구축 범위를 다루지 않는다.

그리고 지도에는 포함되어 있는 정보가 실제 환경에는 존재하지 않는 경우, 다시 말해 축소된 환경 정보에 대해서는 고려하지 않아도 된다. 비록 로봇이 사라진 장애물을 감지하지 못한다 하더라도 실제 존재하는 장애물들의 정보로써 위치인식과 경로 탐색이 가능하기 때문이다. 물론, 목표점까지의 이동 경로를 탐색하는 과정에서 지도에는 있으나

실존하지 않는 정보가 사용되었다면 목표점까지의 이동이 어려울 수 있다. 이는 길 자체가 없어진 경우와 같다. 이 경우에는 '장애물 사이의 연결성' 뿐만 아니라 방향 정보를 함께 이용해야 해결할 수 있는 문제이다. 이는 차후 연구로 남겨둔다.

### 참 고 문 헌

- [1] M. Kim and N. Y. Chong, "RFID-based mobile robot guidance to a stationary target," *Mechatronics*, Vol. 17, pp. 217-229, 2007.
- [2] Herianto, T. Sakakibara, and D. Kurabayashi, "Artificial Pheromone System Using RFID for Navigation of Autonomous Robots," *Journal of Bionic Engineering*, Vol. 4, pp. 245-253, 2007.
- [3] J. A. Cobano, J. Estremera, and P. Gonzalez de Santos, "Location of legged robots in outdoor environments," *Robotics and Autonomous Systems*, 2008(to be published).
- [4] 이인근, 이동주, 이석규, 권순학, "인지에 기반한 이동 로봇의 운항계획," *한국퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, 제14권, 2호, pp. 171-177, 2004.
- [5] 이인근, 서석태, 정혜천, 권순학, "온톨로지에 기반한 자율주행 로봇의 운항," *한국퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, 제17권, 5호, pp. 626-631, 2007.
- [6] J. Komorowski, Z. Pawlak, L. Polkowski, and A. Skowron, "Rough Sets: A Tutorial," *Rough-Fuzzy Hybridization: A New Trend in Decision Making*, pp. 3-98, 1999.
- [7] Z. Pawlak, *ROUGH SETS: Theoretical Aspects of Reasoning about Data*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991.
- [8] A. Skowron and C. M. Rauszer, "The Discernibility matrices and functions in information systems," *Institute of computer sciences report 1/91*, Technical University of Warsaw, pp. 1-41, 1991.

### 저 자 소 개



이인근(In K. Lee)

2001년: 영남대학교 재료금속공학부 (공학사)

2004년: 영남대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)

2006년~현재: 동 대학원 전기공학과 박사과정

관심분야 : 지식 기반 지능 시스템, 온톨로지, 영상 이해  
E-mail : iklee@ynu.ac.kr



손창식(Chang S. Son)

2000년: 대구가톨릭대학교 전자정보공학부 (공학사)

2002년: 대구가톨릭대학교 전산통계학과 (이학석사)

2006년: 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신 공학부(공학박사)

2004~2008년: 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부 강의전담교수

2008~현재: 영남대학교 전기공학과 박사후 연구원

관심분야 : 패턴분류, 주관적평가, 영상처리  
E-mail : fuzzyrisk@paran.com



권순학(Soon H. Kwon)

1983년: 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)

1985년: 서울대학교 대학원 제어계측 공학과(공학석사)

1995년: 동경공업대학 시스템과학(공학박사)  
1996~ 현재: 영남대학교 전기공학과 교수

관심분야 : 지식 기반 지능 시스템  
E-mail : shkwon@yu.ac.kr