

## 신경회로망을 이용한 실내환경에서의 주행표식인식

### Landmark Recognition in Indoor Environments Using a Neural Network

\*김 정호\*, 유 범재\*\*, 조 영조\*\*, 오 상록\*\*, 박 민용\*

\*연세대학교 전자공학과(Tel:(02)361-2868; FAX:(02)361-2333; E-mail:mignpark@bubble.yonsei.ac.kr)

\*\*한국과학기술연구원 정보전자연구부(Tel:(02)958-5760; FAX:(02)958-5749; E-mail: ybj@amadeus.kist.re.kr)

**Abstract:** This paper presents a method of landmark recognition in indoor environments using a neural-network for an autonomous mobile robot. In order to adapt to image deformation of a landmark resulted from variations of view-points and distances, a multi-labeled template matching(MLTM) method and a dynamic area search method(DASM) are proposed. The MLTM is used for matching an image template with deformed real images and the DASM is proposed to detect correct feature points among incorrect feature points. Finally a feed-forward neural-network using back-propagation algorithm is adopted for recognizing the landmark.

**Keywords:** Behavior-Based Control, Multi-Labeled Template Matching, Dynamic Search Area, Neural-Net

#### 1. 서론

지능형 자율이동로봇의 제어시스템으로 이동중 환경의 인식과 주어진 태스크(task)수행을 병렬적으로 수행하기 위하여 태스크들을 기능적 모듈들로 분리하고 각각의 모듈에 대하여 입력-처리-출력의 순으로 동작하도록 구성된 다음 전체적 태스크 모듈들을 상위계층의 제어부에서 총괄적으로 제어할 수 있도록 구성되는 행동기반 제어구조(Behavior-Based Control Architecture)가 연구되어 왔다[1]. 본 연구의 대상이 되는 이동로봇 HULK(Human Like) 역시 [4]에서 기술된 바와 같이 행동기반 제어구조로 구성되었다. 복잡한 태스크를 수행하기 위하여 각각의 태스크들은 DFL(Data Flow Layer)이라는 최상위의 제어부에 소속되고, 최하위 레벨의 제어를 담당하는 DPU(Data Processing Units)들은 각각의 태스크를 구성한다. 이때 DPU를 구성하는 단위들은 복잡한 태스크를 수행하기 위한 기본적인 동작들로 이루어지며 이 단위들은 상위나 중간 제어부에서 우선순위에 의하여 공용으로 제어가 가능하도록 구성되어 있다. 여기서 각각의 센서들은 최하위 제어부인 DPU에 소속되고 접속된 센서에 따라 고유한 기능을 수행하도록 되어 있다. 예로써, 초음파센서는 장애물에 대한 감지 및 회피와 거리측정의 기능을 수행하도록 구성되고, 비전센서인 카메라는 로봇주행시 행동방식에 대한 정보를 랜드마크를 통하여 인식하도록 하였다. 즉, 랜드마크인식을 통하여 이동로봇의 절대위치 인식을 수행하는 기존의 접근방식은 다르게 사람이 모르는 장소를 갈 때에 화살표만을 보고 가야할 수 있는 것과 같이 이동방향 인식을 통한 Vision-Based Navigation이 가능하게 하였다[4][6].

그러나 자율이동로봇에서 비전센서를 통하여 실내 주행환경에 있는 랜드마크를 인식하는 경우 다양한 영상잡음 및 외부조명 조건의 변화가 상존하고 실내환경에 존재하는 랜드마크와 유사한 형태의 텍스처등에 의한 영향으로 인식상의 어려움이 있게 된다. 이러한 변화를 지닌 영상을 처리하는 과정에 있어서 정확한 랜드마크 인식을 하기 위하여 여러단계의 처리과정을 거치게 되면 계산상의 시간이나 메모리가 많이 소요되고 그렇지 않은 경우에는 정확한 인식이 용이하지 않은 trade-off가 발생하게 된다. 패턴인식과 얼굴인식과 같은 분야는 시간이 다소 걸리더라도 정확한 인식이 요구되지만 자율적이고 지능적으로 이동하는 로봇의 경우에는 랜드마크를 정확하게 인식하는 것 뿐만이 아니라 빠르게 인식하는 기능이 요구된다. 특히, 행동기반 제어구조를 갖는 로봇의 경우에는 주행을 위한 태스크 수행모듈이 별도로 존재하고 비전센서를 이용하는 랜드마크 인식태스크의 수행모듈 또한 별도의 모듈로 존재하므로 랜드마크 인식모듈은 순수하게 로봇이동방향에 대한 정보 및 행동에 대한 정보만을 인식한다. 인식된 정보는 상위제어부에 의하여 주행중 적절한 시기에 주행 태스크모듈로 전해져 제어를 위하여 사용되는데, 인식기능을 구현하기 위하여 사람이 랜드마크를 빠르게 인식할 때 주로 특징점을 통하여 인식하고 유사한 특징점이 많이 존재하는 경우 좀 더 자세히 살펴서 랜드마크를 인식하는 것에 착안해서 본 연구에서는, Multi-Labeled Template Matching(MLTM)에 의하여 특징점을 추출하고 여러개의 특징점이 존재하는 경우에는 동적으로 변화되는 탐색영역을 설정하여 인식을 수행 하도록 하였다. 기존의 템플릿매칭(template matching)방법은 인식하고자 하는 물체의 특징점을 정의하고 그 특징점이 미리 입력된 템플릿과 얼마나 유사한가에 대한 상관계수를 가지고 인식의 여부를 결정하기 때문에 인식하고자 하는 패턴을 바라보는 위치, 각도 및 거

리의 변화에 대한 적응성이 현저히 떨어진다. 본 연구에서는 이동로봇이 랜드마크를 바라보는 위치, 각도 및 거리의 변화에 따른 영상의 변화에 적응할 수 있도록 강인하게 인식하기 위하여 MLTM방법을 제안하여 사용하였고, 보다 지능적인 인식 능력을 갖도록 하기 위하여 Back-Propagation 알고리즘을 사용하는 Feed-Forward Neural Network 형태의 신경회로망을 사용하였다.

## 2. 본 론

랜드마크를 인식하기 위해서 여러단계의 영상처리를 거치게 되는데 먼저 어떻게 하면 인식할 대상을 이미지내에서 쉽고 정확하게 인식할 것인가를 고려하여 주요 특징점들을 모델(model)로 표현하고, 특징점들은 실제영상과의 템플릿매칭을 통하여 찾게 된다. 매칭과정을 통하여 얻어진 특징점들에는 실제로 찾고자 하는 특징점뿐만 아니라 특징점을 닮은 의사특징점들도 존재하기 때문에 실제특징점과 의사특징점들이 혼재하는 속에서 실제의 특징점을 찾아내고 그것을 통하여 인식해야 할 랜드마크를 가려내기 위해 가설을 세우는 단계와 실제 랜드마크인가를 판단하는 단계들이 필요하게 되는데 크게 아래와 같이 5가지의 단계로 구분할 수 있다[2].

- a. 대상물에 대한 모델표현
- b. 특징점 추출
- c. 모델매칭
- d. 가설정립
- e. 인식

### 2-1. 랜드마크의 특징점

지능형 이동로봇인 HULK가 인식할 랜드마크는 그 랜드마크를 통하여 자신의 위치정보를 추출하기위한 수단이 아니고 자신이 행동해야 할 방향 및 방법에 대한 정보를 제공하는 수단이다. 따라서, 로봇의 이동 방향설정을 위하여 (그림 1)과 같이 일반적으로 사람들도 실내환경에서 쉽게 사용할 수 있는 좌/우 지정의 화살표와 정지를 표시하는 다이아몬드를 사용하였다.

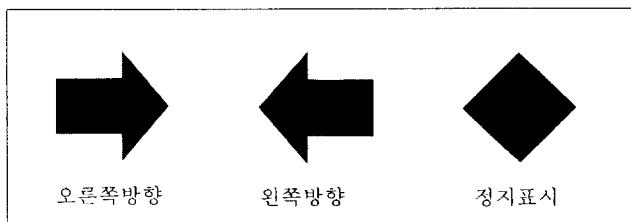


그림 1. 랜드마크의 형태

Fig. 1. Shapes of landmarks

이 랜드마크에 대한 특징점들은 (그림 2)에서와 같이 방향의 성분을 나타내는 꼭지점 및 두 개의 직선성분이 서로 만나는 점들중 화살표의 특징을 가장 잘 나타내는 점들로 정하였다.

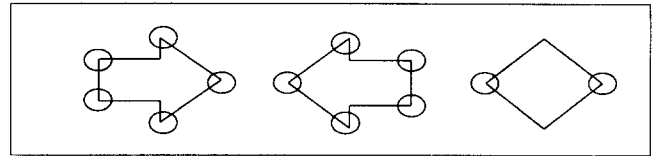


그림 2. 랜드마크의 특징점

Fig. 2. Feature points of landmarks

### 2-2. 특징점추출

랜드마크에 대한 특징점 추출을 위한 전처리 과정으로써 에지(edge)추출은 영상의 밝기에 대한 미분값이 가장 큰 값을 선택하므로써 에지를 추출하는 Sobel Operator를 사용하였고[3] 실내환경에 존재하는 랜드마크에 대한 이미지는 (그림 3)에 나타나는 바와 같다. 추출된 랜드마크영상 에지의 특징점들은 (그림 4)와 같이 각도나 거리의 변화에 따라서 형상이 다르게 보이게 된다. 이러한 특징점들을 (식 1)을 평가함수로 사용하는 기존의 템플릿 매칭방법에 의하여 인식하는 경우 랜드마크를 보는 각도나 거리 변화 또는 랜드마크의 어느 부분만이 보이는 경우등에 따라서 형상이 다르게 보이게 되어 매칭에 대한 상관계수값도 변하기 때문에 특징점 추출이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 MLTM방법을 제안하여 사용하였다.

$$M[i, j] = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n g[k, l] * f[i+k, j+l] \quad (1)$$

$M[i, j]$ : 영상좌표 (i,j)에서의 상관계수

$g(k,l)$ : 좌표 (k,l)에서의 템플릿 픽셀

$f(i+k,j+l)$ : 좌표 (i+k,j+l)에서의 이미지 픽셀



그림 3. 경계선 추출

Fig. 3. extraction of edge

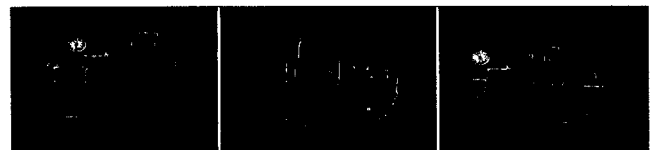


그림 4. 거리와 각도에 따른 랜드마크의 변형

Fig. 4. distortion with distance and angle

- Multi-Labelled Template Matching (MLTM)

카메라로부터 얻어지는 랜드마크의 영상은 이동로봇의 랜드마크에 대한 자세에 따라 (그림 5)에서 나타난 x축, y축, z축 각각에 대해 회전된 모양을 가질 수 있고 거리의 변화에 따라 크기가 변화한다. 또한, 랜드마크 부착시 수평으로 부착하지 못하는 경우가 빈번히 발생하게 된다. 이러한 경우에도 보다 특징점 추출이 신뢰도 있게 수행될 수 있도록 (그림 6)과 같은 MLTM이 제안 되었다. 템플릿 내에 있는 같은 숫자들의 길이는 랜드마크에 대한 각도변화의 허용한계를 결정하는 허용한계 구간으로써 템플릿 내에 p x 1 또는 1 x p의 형태로 랜드마크의 특징점과 일치하도록 배치된다. 이미지면에서의 랜드마크 에지의 매칭여부를 판단을 하기위해서 (그림 6)에서 숫자로 표현되고 있는 것과 같이 여러개의 레이블(multi-label)들을 부여하고 실제 영상에 대하여 매칭시 (식 2)와 같이 각각의 레이블들에 대하여 특징점을 이루고 있는 픽셀(pixel)이 하나라도 매칭이 되면 매칭된것으로 인식한다. 또한 템플릿중 레이블부 이외의 영역에서 픽셀이 인식되면 (식 3)에 의해서 인식오류점(mismatching point)으로 인식하고 (식 4)의 관계로부터 특징점 후보를 결정한다.

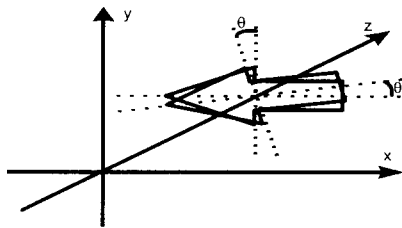


그림 5. 랜드마크의 변형각도  
Fig. 5. angle variation with view-point

$$TMC = \sum_{i=1}^{Maxlabel} MC(i)$$

단,  $MC[g(m, n)] = 1$  if:  $g(m, n) \neq 0 \wedge f(i+m, j+n) = 1$  (2)

$g(m, n)$ : 좌표  $(m, n)$ 에서의 템플릿 픽셀

$f(i+m, j+n)$ : 좌표  $(i+m, j+n)$ 에서의 실제 픽셀

$$TMMC = \sum_{m=0}^{m_r} \sum_{n=0}^{n_r} MMC$$

단,  $MMC = \begin{cases} 1 & \text{if } g(m, n) \neq 0 \wedge f(i+m, j+n) = 1 \\ 0 & \text{if } g(m, n) = 0 \wedge f(i+m, j+n) = 0 \end{cases}$  (3)

$$TMC \geq TMC_{th}$$

$$TMMC \leq TMMC_{th}$$

$TMC_{th}$ 와  $TMMC_{th}$ 는 실험에 의하여 결정한다

MLTM방법을 통하여 인식된 특징점들의 후보는 랜드마크의 특징점을 포함하고 있을 뿐만 아니라 자연 환경속에 존재하는 랜드마크와 유사한 형태의 물체들도 후보로 인식을 하게 되므로 이러한 특징점후보들로부터 보다 정확하게 랜드마크를 인식하기 위한 인식의 전단계로써 랜드마크 특징점후보의 크기를 고려하여 탐색영역을 결정할 필요가 있는데, 본 연구에서는 동적인 탐색영역을 3가지 크기로 구분하여 특징점후보를 찾도록 하였다.

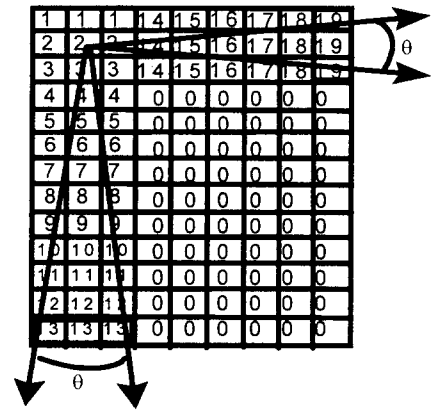


그림 6. multi-labeled template 예  
Fig. 6. example of multi-labeled template

- 동적인 탐색영역

랜드마크가 화살표인 경우에는 특징점이 5개 존재하고 정지를 나타내는 랜드마크인 경우에는 특징점이 4개 존재한다. 방향을 나타내기 위한 주요한 특징점은 방향을 나타내는 꺾쇠모양의 특징점과 그 위/아래 날개모양의 특징점이라는 사실을 주목하여 (그림 7)에서와 같이 3가지의 특징점들의 기하학적 형태에 따라서 탐색영역을 설정하였고, 정지마크인 경우에는 좌/우의 꺾쇠모양이 주요한 특징점이 되므로 이 형태에 따라서 탐색영역을 결정하였으며, 최대탐색영역과 최소탐색영역은 이동로봇이 랜드마크를 인식하는 데 있어서 허용가능한 최대 및 최소거리로부터 획득된 이미지면 상의 픽셀크기로 부터 구하였다.

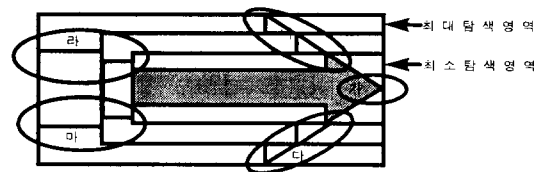


그림 7. 3단계 동적인 탐색영역  
Fig. 7. Dynamic search area with 3-levels

탐색영역을 설정하기 위한 주요특징점의 탐색은 의사특징점이 많이 존재하는 것을 고려하여 전체의 이미지 크기인 512 x 512에 대하여 16등분하여 찾아가도록 하였는데, 탐색시 탐색시간을

줄이기 위하여 (그림 8)과 같이 랜드마크 인식가능영역을 설정하여 그영역에 대하여만 찾아가도록 하였다.

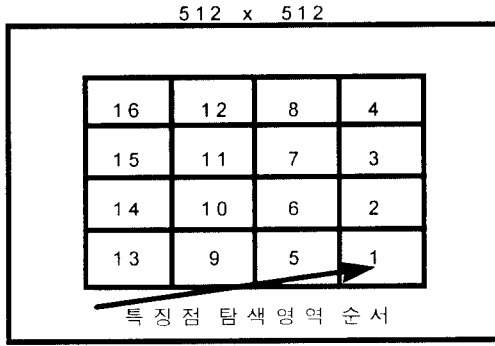


그림 8. 이미지면에서 특징점 탐색순서  
Fig. 8. the order of feature points search in image plane

랜드마크에 대하여 찾아진 동적인 탐색영역은 (그림 9)에 나타나 있다.

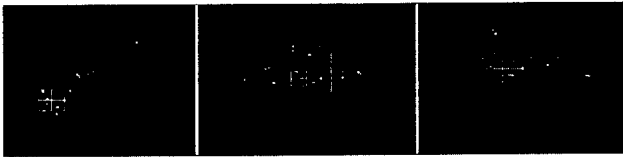


그림 9. 특징점후보에 대한 동적탐색 결과  
Fig. 9. result of dynamic search

### 인식

랜드마크 인식을 위하여 (그림 10)과 같이 Back-Propagation Algorithm의 Feed-Forward Network를 구성하였으며[5][7], 본 연구에서는 (그림 7)의 탐색영역내에 존재하는 각각의 특징점 후보들의 좌표위치에 대하여 벡터 양자화과정을 통하여 입력의 개수를 정하였다.

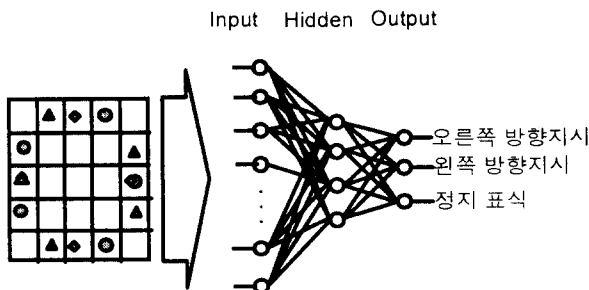


그림 10. 신경회로망 구성 및 입출력 관계  
Fig. 10. neural net configuration and relation of input output

신경회로망의 구조는 전체 입력노드의 개수 25개, 어느 랜드마크가 인식되었나를 알려주는 출력노드 3개 및 중간층(hidden

layer) 1개로 구성된다. 에러 평가함수로는 sigmoid function을 사용하였고 학습률은 0.5, 모멘텀은 0.7을 사용하였다.

### 3. 결론 및 향후과제

본 연구를 통하여 카메라로부터 입력되는 랜드마크가 거리에 따라서 크기가 변화되는 경우와 랜드마크를 인식하는 위치와 각도 변화에 따르는 랜드마크 형상의 변형이, 제안된 MLTM 허용한계 불력의 크기가 정의하는 각도 내에서 생긴다면 충분히 특징점 인식이 이루어짐을 볼 수 있었다. 그러나 실내환경에는 랜드마크와 유사한 형태의 대상체들이 많이 존재하고 또 영상잡음도 무시할 수 없기 때문에 실제특징점 후보외에도 실제와 유사한 의사특징점도 특징점으로 많이 인식되었다. 이러한 상황에서 동적인 탐색영역의 활용은 실제의 특징점을 가려 내기 위하여 유용한 방법이었으며, 최종적으로 결정된 특징점후보들을 신경회로망에 입력하여 실험해 본 결과 랜드마크를 인식하는데 효율적임을 알 수 있었다. 그러나, 이 연구는 단지 3가지 형태의 랜드마크에 대한 것으로 추후엔 좀더 다양한 형태의 랜드마크인식에 대한 실험 및 알고리즘의 하드웨어화에 대한 연구가 이뤄져야 하겠다.

### 참고문헌

- [1] R.A.Brooks, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", IEEE J. of Robotics and Automation, vol. RA-2, no. 1, pp.14-23, 1986.
- [2] R.Jain, R.Kasturi and B.G.Schnck, *Machine Vision*, McGraw-Hill Inc., 1995.
- [3] W.K.Pratt, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons Inc., 1991.
- [4] 전윤호, "지능형 이동로봇의 행위기반 제어구조에 관한연구", 한국자동제어 학술회의 논문지, pp.883-886, 1995.
- [5] J.A.Freeman, D.M.Skapura, *Neural Networks Algorithms, Applications and Programming Technique*, Addison Wesley, 1995.
- [6] R.Talluri and J.K Aggarwal, "Mobile Robot Self-Location using Model Image Feature Correspondence", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 12, No. 1, pp. 63-77, February 1996.
- [7] S.T.Welstead, *Neural-networks and Fuzzy Logic Applications in C/C++*, John Wiley & Sons Inc., 1994.