

The Sensory-Motor Fusion System for Object Tracking

李相熙* · 魏載珩** · 李鍾浩***
 (Sang Hee Lee · Jae Woo Wee · Chong Ho Lee)

Abstract - For the moving objects with environmental sensors such as object tracking moving robot with audio and video sensors, environmental information acquired from sensors keep changing according to movements of objects. In such case, due to lack of adaptability and system complexity, conventional control schemes show limitations on control performance, and therefore, sensory-motor systems, which can intuitively respond to various types of environmental information, are desirable. And also, to improve the system robustness, it is desirable to fuse more than two types of sensory information simultaneously. In this paper, based on Braitenberg's model, we propose a sensory-motor based fusion system, which can trace the moving objects adaptively to environmental changes. With the nature of direct connecting structure, sensory-motor based fusion system can control each motor simultaneously, and the neural networks are used to fuse information from various types of sensors. And also, even if the system receives noisy information from one sensor, the system still robustly works with information from other sensors which compensates the noisy information through sensor fusion. In order to examine the performance, sensory-motor based fusion model is applied to object-tracking four-foot robot equipped with audio and video sensors. The experimental results show that the sensory-motor based fusion system can tract moving objects robustly with simpler control mechanism than model-based control approaches.

Key Words : Neural network, Sensory-motor, Sensor fusion, Fusion system, Object tracking.

1. 서 론

인간의 뇌 및 신경계통의 기능성 연구를 바탕으로 신체의 동작 명령 체계를 탐구, 모방하고 활용하기 위해 다양한 모델과 시스템들이 구현되고 있다. 그 중에서도 인간의 반사 반응행동에 대한 모델로서, 센서-작동기(sensor-actuator)간의 협응(cooperation)을 위한 직접연결모델(direct-connection model)[1][2][3]은 미래 정보화 시대의 가정에서의 다양한 환경하에서 미지의 일과를 도와주는 지능형 정보 처리 및 이동형·도우미로봇의 개발에 필수적인 기술로서 종래의 모델 기반(model-based)제어의 한계를 극복하는 접근 방식이다. 이는 기본적으로 인식과 반응의 직감적 결합을 실현하는 시스템으로서 향후 많은 기술 발전과 시장 확대가 예견되는 가정용 애완로봇(pet robot)의 개발에서 기술적 도약을 제공하는 기술이 될 수 있다. 또한, 생물체를 유사하게 모방하는 다양하고 실용적인 소형로봇의 두뇌 및 신경계로서 고성능 지능시스템의 하나의 핵심요소가 될 수 있다.

본 논문에서는 서로 다른 종류의 센서를 결합하여 좀 더 효과적이고 빠른 감각 운동 융합 시스템[4][5]을 제안한다. 단일 종류의 광센서(photodetector)를 이용한 Braitenberg의 자동차(vehicle)모델[2]에서는 센서와 작동기간의 직접연결모델을 제시하였다. 이는 운동생물을 모방한 직접연결모델을 간단하게 보여준 예이다. 하지만, 인간의 반사운동은 하나의 입력에 의해서만 결정되지 않으며, 보다 효과적인 반응시스템을 위하여는 한 개 이상의 센서정보를 결합활용하는 모델을 추구해야한다. 이러한 모델을 추구하는데 있어서 개개의 입력을 빠르게 처리하여 결과를 통합하는 방법[3]이 아니라, 서로 다른 입력이 서로 어우러져 처리된다는 점이 기존의 연구와 차이점이자 좀 더 인간의 즉각 반응 모델로의 접근이라고 볼 수 있다. 기존 연구중 여러 종류의 센서를 처리하는데 각 센서에 서로 다른 네트워크를 적용하여, 출력부분에서 통합유닛(IU, Integrating Unit)를 이용하여 처리하는 방법[6][7][8][9]이 있으나, 이것은 여러 종류의 센서가 처음부터 조합되어 있지 않았다. 또한, 소리와 영상입력을 이용한 두 바퀴 로봇을 동작을 시키는 연구[10]가 있으나, 출력이 센서입력을 단순히 합하여 모터를 회전시킨다. 하지만, 본 논문에서는 소리와 영상이 종류와 입력개수에 차이에 상관없이 동등하게 출력에 영향을 주며 출력도 각 모터의 회전 각도값으로 직접 전달되는 감각 운동 융합 시스템을 설계하였다. 실제 소형로봇에 적용한 실험 결과는 이러한 모델의 성능을 검증한다.

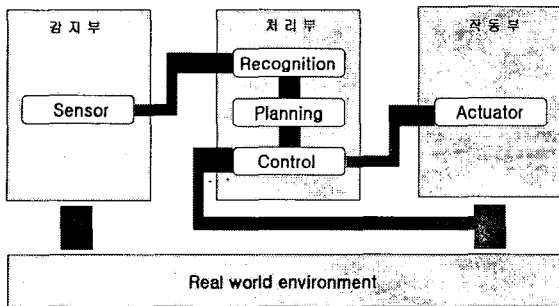
* 準 會 員 : 仁荷大學 工大 情報通信工學科 工碩
 ** 正 會 員 : 仁荷大學 工大 電氣科 博士課程
 *** 正 會 員 : 仁荷大學 工大 情報通信工學部 教授 · 工博
 接受日字 : 2002年 11月 12日
 最終完了 : 2002年 12月 23日

2. 감각 운동 모델(Sensory-motor model)

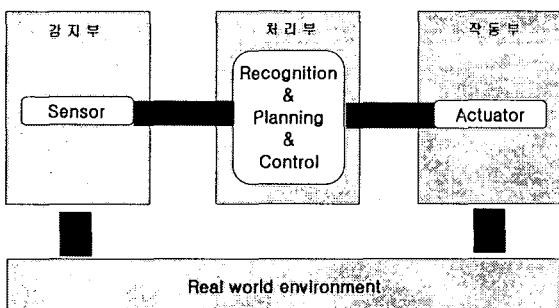
센서와 작동기간의 직접연결모델은 1984년에 Valentino Braitenberg의 간단한 운동생물을 모방한 구조[2]에서 볼 수 있다. Braitenberg는 차량에 장착된 여러 개의 광탐지기(photodetector)를 이용하여 차량의 모터를 구동시켰다. 이와 같은 연구는 그림 1의 가)에서 보여주는 모델기반의 단계적인 제어과정이 아닌, 그림 1의 나)에서 보듯이 인식과 계획과 제어과정이 동시에 통합되어 처리되는 방법이었다[3]. 이는 제어속도의 향상을 가져올 수 있으며, 일반적인 제어방법인 모델기반(model-based)제어방법이 처리하기 힘든 복잡한 모델에 대해서도 자율 조절에 의하여 제어되는 방법이다. 이 모델은 다음과 같은 조건[1]하에서 기능을 수행한다.

- 다중 목표(Multiple Goals) : 한 개 이상의 다양한 목표를 수행함.
- 다중 센서(Multiple Sensors) : 여러 개의 센서입력을 가지고 있으며, 에러를 포함할 수 있음.
- 강인성(Robustness) : 일부 센서에 문제가 발생하더라도 여전히 기본 동작을 수행함.
- 확장성(Extensibility) : 추가적인 처리능력이 요구될 때 센서와 용량이 더해져서 동작함.

본 논문에서는 감각 운동 융합 모델로서 시각 및 청각 센서의 융합정보를 활용함으로써 추적성능을 개선하는 방법을 제시한다.



가) 모델기반(Model-based) 제어방식



나) 감각 운동 시스템

그림 1 제어계 방법 비교
Fig. 1 Comparison of control system

3. 감각 운동 융합 모델(Sensory-motor fusion model)

감각 운동 융합 모델의 목적은 실세계 환경의 변화에 대하여 즉각적으로 반응하여 움직일 수 있으며, 시스템의 동적 특성에 대한 사전지식없이도 적응적으로 목표성능을 달성하는 것이다. 하지만, 기존의 방법들은 특수한 경우에만 적용하고 일반적인 목적에 적용할 수 있는 센서융합 시스템을 고려하지 않거나[11], 감각되먹임(sensory feedback)에 기초한 계층적인 병렬 감각처리(sensory processing)시스템[3]으로 빠른 동작을 보장하나, 센서들의 조합과 작동기의 동작을 통합처리 하지 못한다. 따라서, 본 논문에서는 그림 2에서 보여주듯이 센서들의 균형적인 조합과 작동기의 개개의 제어로 이어지는 감각 운동 융합모델을 제시한다. 이 시스템을 선형시스템으로 근사화하는 방법[3]과 선형시스템[12]의 특징을 응용해 보면 그림 3과 같은 행렬 블록과 행렬 관계식을 얻을 수 있다.

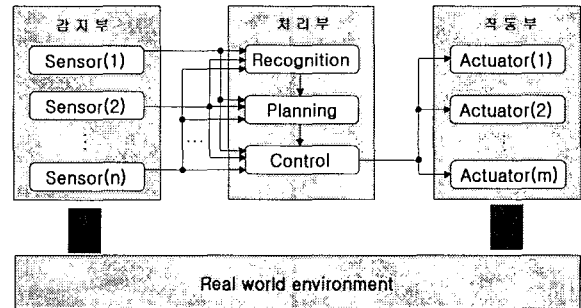


그림 2 센서 융합 시스템
Fig. 2 Sensor fusion system

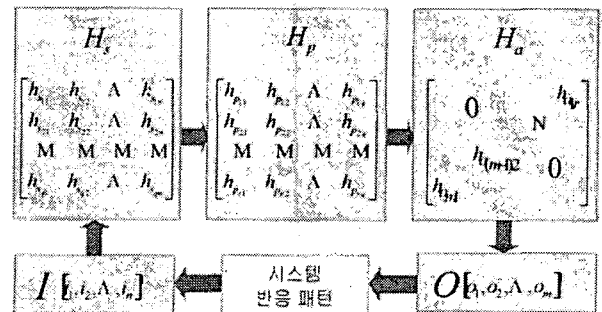


그림 3 감각 운동 융합 시스템 블록 다이어그램
Fig. 3 Block diagram of sensory-motor fusion system

여기서, $I [n \times 1]$, $O [m \times 1]$ 는 센서의 입력신호와 작동기의 출력신호이며, $H_a [m \times r]$, $H_p [r \times q]$, $H_s [q \times n]$ 는 각각 작동부(actuating), 처리부(processing), 감지부(sensing) 부분의 동적 특성을 나타내는 행렬이다.

$$O = H_a H_p H_s I \tag{1}$$

다중 센서로서 작용하려면, H_p 의 입력이 되는 $H_s I$ 의 원소들의 크기가 정규화되어야하며 H_s 는 실세계의 환경 신호와 제어부의 입력간 신호변환을 담당하는 센서부의 특성

을 나타낸다. H_p 는 다층신경망으로 구성하여서 학습에 의한 동작함은 물론 입력에 따른 recognition/planning/control을 동시에 처리하는 역할을 담당하게 된다. H_a 는 H_p (신경망)로부터 나온 결과로부터 작동기를 구동하여 발생하는 운동특성을 결정지어준다.

4. 시스템 구성

3장의 행렬식 (1)을 바탕으로 실제 감각 운동 시스템을 구현하였으며, 시스템의 구성사진과 구성도는 각각 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

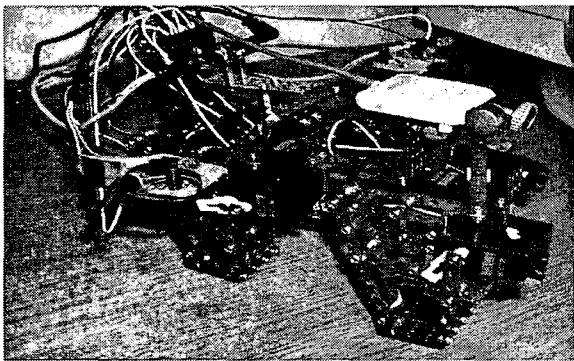


그림 4 감각 운동 융합을 적용한 4족로봇시스템
Fig. 4 Four-foot robot system based on sensory-motor fusion method

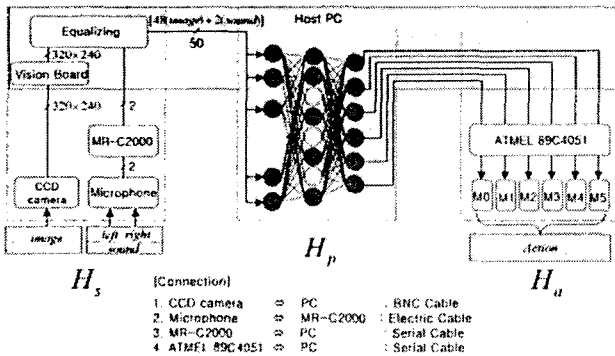


그림 5 시스템 구성도
Fig. 5 System configuration

4.1 감지부(Sensing Part, H_s)

4.1.1 영상입력신호

CCD카메라로부터 들어오는 영상정보를 영상 보드를 통해 PC로 보낸다. 영상 보드에서는 영상정보를 320×240 픽셀(pixel)크기이며, 각 픽셀은 8비트 그레이(gray)형태로 전달한다. 본 실험에 사용되기에는 불필요하게 정보량이 많으므로, 이 영상정보를 8×6[PU](1[PU]= 40×40[pixel])크기로 변환한다. 이 변환기준은 실험을 통해 제어가능한 가장 최

소한의 영상정보크기로 선택한 것이다. 동시에 각 픽셀의 데이터를 디지털화하여 변환시킨다. 여기서, 각 픽셀은 0 ~ 255 사이의 값을 가지므로 그 중간 값(실험을 통해 150으로 설정)을 문턱값으로하여 0과 1로 변환한다. 영상 데이터는 식(2),(3)에 의하여 8×6의 이진신호로 변환된다.

$$i(k, l) = \sum_{y=40k}^{40k+39} \left\{ \sum_{x=40l}^{40l+39} v(x, y) \right\},$$

$$\begin{cases} 0 \leq k \leq 5, & 0 \leq l \leq 7 \\ 0 \leq y \leq 239, & 0 \leq x \leq 319 \end{cases}$$

$$v(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{pixel intensity} \geq 150 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, $i(k, l)$ 은 0~1600까지의 값을 가질 수 있다. 하지만, 우리가 사용하려는 신호는 이진신호이다. 따라서, 누적값 $i(k, l)$ 의 $\frac{3}{8}$ (실험을 통해 설정)인 600을 문턱값으로 이분하여 최종 이진신호로 바꾸어 준다.

$$d_n = \begin{cases} 0, & i(k, l) < 600 \\ 1, & i(k, l) \geq 600 \end{cases} \quad \text{단, } n = 8k + l \quad (3)$$

과 같이 변환하였다.

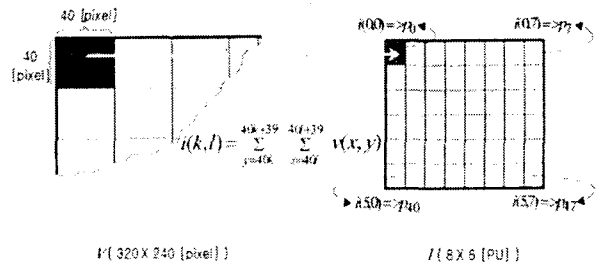


그림 6 영상데이터 변환
Fig. 6 Transformation of image data

4.1.2 소리입력신호

고성능의 마이크로폰 두 개를 로봇 헤드의 좌우측 45도 방향으로 부착하여, 일정 이상의 소리(약 65[dB], 보통 일반적인 대화에서 발생하는 소음이 60[dB]정도이다.)가 발생하면 마이크로폰은 1이라는 이진신호를 미니로봇컨트롤러인 MR-C2000으로 넘겨준다. 그러면, MR-C2000은 PC의 시리얼포트를 통하여 신호를 전달한다. 두 개의 마이크로폰은 소리에 대한 반응으로 이진신호를 PC로 전달하며, 방향결정은 프로세싱 파트의 신경망이 결정하게 된다.

4.1.3 균등화과정(Equalizing process)

영상입력은 식(3)에 의해 소리입력과 같은 형태의 이진신호로 변환되고, 소리입력신호와 영상입력신호는 처리부의 신경망으로 입력된다. 따라서, 처리부의 신경망은 동등한 형태의 영상입력신호 48개와 소리입력신호 2개를 합한 50개의 입력신호를 받아들여지게 된다.

4.2 처리부(Processing Part, H_p)

4.2.1 센서 융합

소리입력신호와 영상입력신호를 신경망의 입력으로 들어가게 하였다. 하지만, 영상입력신호에 이상이 있는 경우에도 소리입력에 의해서만 동작할 수 있도록 하기 위해서, 적은 입력개수를 가지는 소리입력신호를 위한 신경망이 필요하게 되었다. 따라서, 두 개의 신경망을 중첩하여 처리함으로써 출력을 내도록 조정하였다. 영상입력신호와 소리입력신호를 처리하는 신경망과 소리입력신호만을 처리하는 신경망으로 나누어서 보면 그림7과 같다. 이 두 개의 신경망을 조합한 구조와 신경망의 입력력은 그림8에 나타내었다.

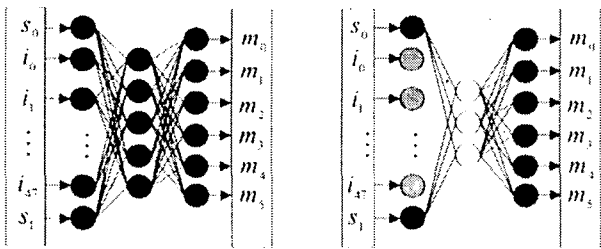


그림 7 영상신호와 소리신호를 위한 신경망
Fig. 7 Neural networks for image signal and sound signal

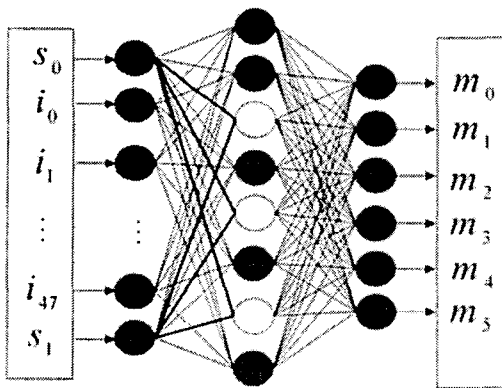


그림 8 센서 융합을 위해 겹쳐진 신경망
Fig. 8 Superimposed network for sensor fusion

4.2.2 신경망 구조

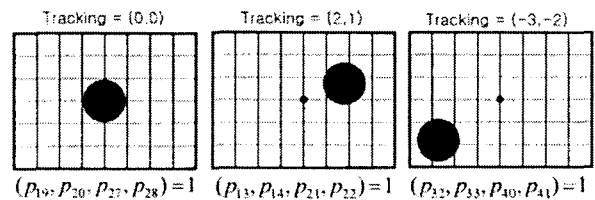
두 종류의 신경망을 동시에 수행하여, 출력에서 두 값의 평균을 취한다는 것을 제외하고는 다층신경망[13][14]의 구조를 따른다. 자세한 사양은 표 1과 같다. 여기서, 학습데이터는 로봇동작실험을 통해 50개의 데이터를 구한 후 사용하였다. 그 중 몇 개의 예를 그림 9에서 볼 수 있다. 공은 지름은 2 [PU]이며, 공의 중앙이 영상 가운데로 오도록 추적 지시데이터를 발생한다. 단, 공이 4개이상의 p_i 에 걸치더라

도 문턱값에 의해 4개만 이진신호 1을 갖는다. 또한,감지부에서 최종 이진신호로 변환하는 과정을 거쳤으므로 좌우추적치는 -3 ~ 3, 상하추적치는 -2 ~ 2까지의 범위를 갖게 된다.

표 1 신경망 사양

Table 1 Neural network specification

# of input	50 (48(영상)+2(소리))
# of output	6
# of hidden	8 (5+3)
Momentum(α)	0.9
Learning rate(β)	0.45
Tolerance(ϵ)	0.5
Max iteration	1000
Transfer function	$f(x) = \frac{1.0}{1.0 + e^{-x}}$



· Tracking = (r_i, u_i) ,

$$\begin{cases} -3 \leq r_i \leq 3, & r_i: \text{좌우추적 지시치} \\ -2 \leq u_i \leq 2, & u_i: \text{상하추적 지시치} \end{cases}$$

· 영상좌표 = (p_0, \dots, p_{47}) ,

단, 4개의 p_i 만 1이고, 그외는 0임.

그림 9 학습 데이터

Fig. 9 A example of learning data

4.3 작동부(Actuating Part, H_a)

PC에서 처리(processing)가 끝난후에 신호를 로봇에게 전달해 준다. PC의 시리얼포트(RS-232)로부터 미니로봇컨트롤러(MR-C2000)로 신호를 주면, MR-C2000은 6개의 모터에 동작각도를 준다. 모터는 서보모터이므로 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 의 동작범위를 가진다. 하지만, 미니로봇컨트롤러는 음수표현을 사용하지 않으므로 출력신호는 10 ~ 190까지의 수치로 나타나게 된다. 이 컨트롤러는 로봇과 PC를 연결해주는 역할만을 수행한다. 모터동작에 따른 로봇의 움직임은 다음 그림 10과 그림 11과 같다. 그림 11는 위에서 내려다본 모양이며, 오른쪽 회전동작은 왼쪽 회전동작의 역동작이다.

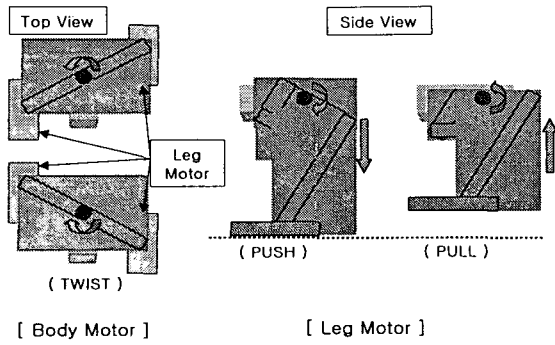


그림 10 몸통과 다리의 동작
Fig. 10 Behavior of body motor and leg motor

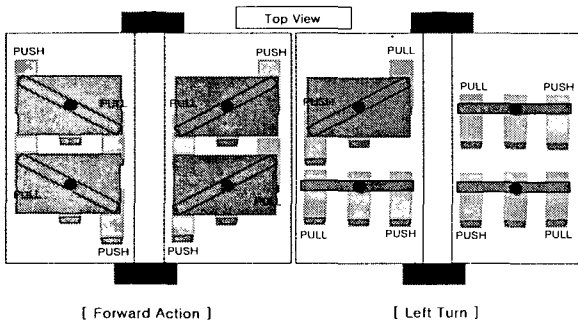


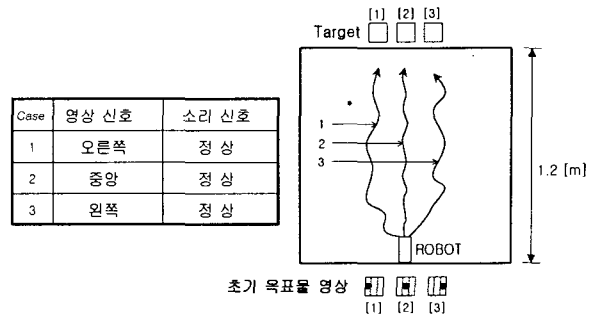
그림 11 움직임 기능
Fig. 11 Function of behavior of body motor and leg motor

5. 실험결과

로봇은 평평한 곳에서 작동 테스트를 진행하였다. 소리 입력이 제대로 입력되었는지를 확인하기 위해 좌우에 LED를 부착하였다. 또한 프레임 구조상 몸통의 모터는 45°로 제한하였으므로, 이 각도로 움직일 때 가장 큰 이동거리를 확보할 수 있다. 실험은 두 단계로, 첫 번째 단계는 정지물체를 추적해 가는데 소리와 영상이 동시에 입력되는 경우와 외부환경에 의해 소리나 영상입력에 잡음이 있는 경우이고, 두 번째 단계는 이동하는 물체를 추적해가면서 첫 번째 단계와 마찬가지로 소리와 영상이 동시에 입력되는 경우와 잡음이 있는 경우에 대해 진행하였다. 각 경우에서 신경망의 학습을 다시 하여 적용하였으며, 신경망의 목표 출력값은 최대한 이동거리를 확보할 수 있는 모터각도로 정하였다. 신경망으로부터 모터 각도는 연속적으로 출력되어, 연속적인 동작을 하게 된다. 입력되는 영상의 중앙에 물체가 있도록 움직이다가 물체와 가까워져 공의 크기가 원래 크기의 1.5 배로 보이거나 정지선(도착점 15cm)을 통과하면 정지하도록 하였다.

5.1 정지물체의 추적

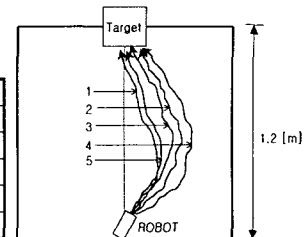
화면을 그림 12의 가)와 같이 크게 세 부분으로 나눈 후 각각의 경우에 대해 로봇을 동작시켜보았다. 소리와 영상 입력이 정상적으로 들어오는 세 경우 모두에서 로봇은 그림 12의 가)와 같이 목표물을 정확하게 추적하였다. 반복 실험을 통하여 로봇의 평균이동경로를 표시하였다. 다음에는 영상이나 소리에 잡음이 섞인 경우에 대해 실험을 하기 위해 영상은 찌그러진 물체모양이 되도록 타원형같은 모양이 입력되도록 하며, 소리는 반대쪽으로 입력되게 하거나, 소리 입력이 없게 하여 잡음이 발생한 것처럼 하였다. 또한 로봇을 오른쪽으로 20도정도 틀어놓고 출발시키면서 앞으로 움직이도록 하였다. 반복실험 후 평균적으로 이동한 경로를 표시하였다. 그림 12의 나)에서 4번째 경우인, 소리와 영상 모두에 잡음이 발생한 경우에도 목표 영상을 추적해나가는 이유는 타원형물체를 영상입력신호의 잡음으로 설정하여 실제 영상과 유사한 형태이기 때문이다. 여기서, 1번과 5번 경우를 보면 한쪽의 입력에 문제가 발생하더라도 로봇의 움직인 경로는 유사함을 알 수 있다. 이는 다른 종류의 센서를 사용하더라도 각 종류의 센서들이 출력에 미치는 영향력이 균등하게 하려는 원래 목적에 부합하는 결과였다. 하지만, 2,4 번 경우에는 소리의 입력신호에 잡음이 매우 큰 상태(반대로 소리입력신호를 넣어줌)임에도 정상작동을 한다. 이것은 영



상입력신호가 출력에 조금 더 영향을 주어 동작되었음을 알 수 있다. 하지만, 이 문제는 영상입력신호와 소리입력신호개수의 적절한 조절에 의해 해결될 수 있다.

가) 정상조건시

Case	영상 신호	소리 신호
1	정상	소리 없음
2	정상	Noise
3	Noise	소리 없음
4	Noise	Noise
5	Noise	정상



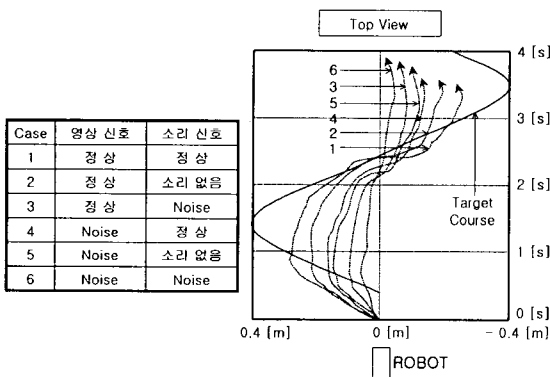
나) 잡음 존재시

그림 12 추적 경로

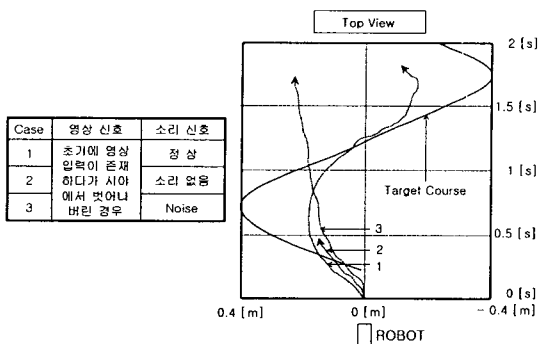
Fig. 12 Tracking path of normal and abnormal condition

5.2 움직이는 물체의 추적

이제는 실제로 물체를 조금씩 움직여가면서 실험을 해보았다. 물체가 움직인다는 것 이외에는 첫 번째 단계와 다른 것이 없다. 로봇동작도 첫 번째 단계와 유사하게 움직였다. 다만, 물체를 빠르게 움직이는 경우 영상입력은 없어지고, 소리입력만으로 처리하게 되는 경우가 추가될 수 있다. 전체적으로 로봇의 모터속도가 빠르지 못한 점은 개선해야 할 점이다. 그림 13의 가)에서는 물체를 좌우로 움직이면서 로봇이 추적하도록 실험한 결과를 보여준다. 물체가 이동한 경로에 근접할수록 추적을 잘하는 경우이다. 영상과 소리입력에 모두 잡음이 발생한 경우에는 그 움직임이 거의 직선과 같았다. 그러나, 둘 중 하나에만 잡음이 있는 경우에는 잡음이 전혀 없는 경우와 비슷한 경로로 이동함을 볼 수 있다. 그림 13의 나)에서는 물체의 이동속도를 두배로 빠르게 하는 경우의 실험 결과이다. 처음에는 물체를 따라 이동하다가 중간에 물체를 놓친 경우, 소리입력신호에 의존하여 동작함을 알 수 있다. 또한 소리입력신호가 없을 때는 정지하며, 소리입력신호가 물체 이동방향과 거꾸로 들어올 때는 다른 방향으로 동작하였다. 이와 같은 실험결과로부터 영상입력신호와 소리입력신호 모두 잡음이 있지 않다면 로봇은 정상적으로 동작함을 알 수 있었다.



가) 목표물이 느린속도로 이동하는 경우



나) 목표물이 빠른 속도로 이동하는 경우

그림 13 물체 추적
Fig. 13 Object tracking

6. 결 론

실험에 사용된 로봇은 외부 카메라에 의해 동작되는 것이 아니라 로봇탑재 카메라의 영상입력신호를 사용한다. 따라서, 로봇의 움직임에 따라 영상의 형태가 수시로 변화하므로 감각 운동협응(sensory-motor)체제의 필요성이 더욱 강조된다. 여기에, 다양한 종류의 입력신호를 추가하면, 입력간에 상호보완적인 반응시스템을 구축할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 영상입력에 소리입력이라는 다른 형태의 입력을 결합하여 로봇을 동작시켜 물체를 추적하는 감각 운동 융합 시스템을 구현하였다. 또한, 기존 융합모델에서는 서로 다른 입력의 개수차이에 대해 유연하지 못하여 실험결과에서 소리입력이 없고 영상입력만이 존재하는 경우와 유사한 결과를 갖는다. 영상입력과 소리입력과의 상호보완적인 형태의 결합은 기존의 모델기반(model-based)제어로 구현하기에는 상당히 복잡한 시스템이다. 그러나, 본 논문에서 제시한 모델은 센서입력을 작동기 출력으로 변환하는 과정에 신경망 학습을 통하여 단순하면서도 우수한 제어성능을 보였다. 또한, 로봇은 동작을 수행하기 앞서 현재의 상태를 파악하고, 어떤 동작을 취해야 하는가를 결정하기 위해서는 주위의 환경을 감지(sensing)하고 이를 처리(processing)하여 판단을 할 수 있는 조건을 끌어내는 인식 기술이 필요하다. 센서(sensor) 자체의 정확도 및 신뢰성을 높이는 것도 중요하고 다양한 센서를 개발하는 것도 중요하지만, 그보다 더 어렵고 핵심적인 기술은 센서(sensor)로부터 얻은 각종 정보를 로봇이 환경을 판단하는 데 유용하게 쓰일 수 있도록 처리(processing)하는 과정이다. 이런 면에서 본 논문에서는 영상입력과 소리입력으로 들어오는 정보를 융합처리함으로써 효과적이고 빠르게 처리할 수 있는 모델을 제시하였다. 제시된 모델에 사용된 처리부는 현재 개발중인 인공지능경회로 망집이 담당하게 함으로서 로봇의 독자행동을 가능하게 할 것이다. 또한, 다수의 센서를 사용하는 경우, 이동로봇의 연구분야인 경로 생성 및 계획(path generation or planning), 경로 추적 제어기 설계(path tracking control), 자세제어기법(posture stabilization control), 충돌회피(collision avoidance), 논홀로노믹시스템 제어기법(nonholonomic system control)등에도 적절히 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부의 뇌연구 개발 사업(M1-0107-02-0002)의 지원하에 연구되었습니다.

참고 문헌

[1] Rodney A. Brooks, "Cambrian Intelligence: The Early History of the New AI", MIT Press, 1999
 [2] Valentino Braitenberg, "Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology", MIT Press, 1984
 [3] Koball, B.R., Wharton, J.H. "A test vehicle for

Braitenberg control structures", Compcon Spring '88. Thirty-Third IEEE Computer Society International Conference, Digest of Papers, 394-398, 1988

[4] Namiki, A., Nakabo, Y., Ishii, I., Ishikawa, M. "1-ms Sensory-Motor Fusion System", Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on, Volume: 5 Issue: 3, 244-252, Sept. 2000

[5] M. Ishikawa, "Sensor fusion: The state of the art," J. Robot. Mechatron., vol.2-4, pp. 235-244, 1991

[6] Hiromi Takeuchi, Koichiro Yamauchi and Naohiro Ishii, "Supervised learning method for integrating information from several sensors-Integration of inconsistent sensory inputs-", IEEE SMC '99 Conference Proceedings, vol.3, pp. 459-464, 1999

[7] Koichiro Yamauchi, Mikiya Oota, Naohiro Ishii, "A self-supervised learning system for category detection by integrating information from several sensors", Proceedings of IEEE International Conference, pp. 694-699, 1996

[8] Hiromi Takeuchi, Koichiro Yamauchi and Naohiro Ishii, "Self-Supervised Learning and Recognition by Integrating Information from Several Sensors", IECON 2000. 26th Annual Conference of the IEEE, vol.2, pp. 1195-1200, 2000

[9] Ren C. Luo, S.H. Henry Phang, and Kuo L. Su, "Multilevel Multisensor Based Decision Fusion for Intelligent Animal Robot", IEEE International Conference on, Volume: 4, pp. 4226-4231, 2001

[10] Barbara Webb, Reid Harrison, "Eyes and Ears: Combining Sensory Motor Systems Modelled on Insect Physiology", ICRA '00. IEEE International Conference on, Volume: 4, pp. 3913-3918, 2000

[11] Jinji Chen, Mukai, T., Takeuchi, Y., Matsumoto, T., Kudo, H., Yamamura, T., Ohnishi, N., Tsuyoshi Yamamura, Noboru Ohnishi, "Relating audio-visual events caused by multiple movements: in the case of entire object movement", Information Fusion, 2002. Proceedings of the Fifth International Conference on, vol.1, pp. 213-219, 2002

[12] Chi-Tsong Chen, "Linear system theory and design", Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1984

[13] Joey Rogers, "Object-Oriented Neural Networks in C++", Academic Press, 1997

[14] Timothy Masters, "Practical Neural Network Recipes in C++", Academic Press, 1993

저 자 소 개



이 상 희(李相熙)

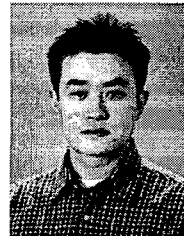
1975년 8월 30일생. 2001년 인하대 전기전자컴퓨터공학부 전기 및 제어전공 졸업. 2003년 2월 인하대 정보통신대학원 정보통신과 졸업예정(석사).

Tel : 032-860-8693

Fax : 032-863-5822

E-mail

c2011013@inhavision.inha.ac.kr



위 재 우(魏載玆)

1974년 5월 21일생. 1997년 인하대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 3월-현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 032-860-7396

Fax : 032-863-5822

E-mail : wizet2000@hanmail.net



이 중 호(李鍾浩)

1953년 4월 14일생. 1976년 서울대 전기공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1986년. 미국 아이오와주립대 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(공학박), 1979년-1982년 해군사관학교 전임강사, 1980년-1982년 국방과학연구소 위축연구원, 1986년-1989년 미국

노틀담대학교 조교수, 1991년-1993년 대한전기학회 컴퓨터 및 인공지능연구회 간사장, 1994년-1995년 미국 브라운대학교 방문교수, 1997년-1998년 인하대 집적회로설계센터소장, 1989년-현재 인하대학교 정보통신공학부 교수, 2000년-현재 수퍼지능기술연구소 소장

Tel : 032-860-7396

Fax : 032-863-5822

E-mail : chlee@inha.ac.kr