이동 로봇을 위한 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가

Recognition Performance of Vestibular-Ocular Reflex Based Vision Tracking System for Mobile Robot

박 재 홍, 반 욱, 최 태 영, 권 현 일, 조 동 일, 김 광 수*
(Jaehong Park, Wook Bhan, Tae-Young Choi, Hyunil Kwon, Dong-il Cho, and Kwangsoo Kim)

Abstract: This paper presents a recognition performance of VOR (Vestibular-Ocular Reflex) based vision tracking system for mobile robot. The VOR is a reflex eye movement which, during head movements, produces an eye movement in the direction opposite to the head movement, thus maintaining the image of interested objects placed on the center of retina. We applied this physiological concept to the vision tracking system for high recognition performance in mobile environments. The proposed method was implemented in a vision tracking system consisting of a motion sensor module and an actuation module with vision sensor. We tested the developed system on an x/y stage and a rate table for linear motion and angular motion, respectively. The experimental results show that the recognition rates of the VOR-based method are three times more than non-VOR conventional vision system, which is mainly due to the fact that VOR-based vision tracking system has the line of sight of vision system to be fixed to the object, eventually reducing the blurring effect of images under the dynamic environment. It suggests that the VOR concept proposed in this paper can be applied efficiently to the vision tracking system for mobile robot.

Keywords: VOR (Vestibulo-Ocular Reflex), vision tracking system, recognition performance

I. 서론

최근 로봇 산업은 산업용 로봇에서 출발하여 군사용이나 과학기술 용도를 벗어나 가정용 로봇으로까지 그 활용 영역을 넓혀나가고 있다. 이와 같이 로봇의 활용 범위가 넓어지고 다양한 기능을 수행함에 따라 이를 위하여 다양한 센서가 로봇에 적용되고 있다[1]. 이러한 다종의 센서들 중에서 특히 시각 센서는 변화하는 주위 환경에 융통성 있게 대처할 수 있는 정보를 제공해주는 로봇 지각의 중추적인 역할을 담당한다[2]. 시각 센서는 주로 카메라를 이용하여 실시간으로 영상을 취득하고, 취득된 방대한 양의 영상 정보를 실시간으로 처리하여 물체의 크기, 위치, 색깔 등의 정보를 분석하여 물체를 인식하며 이를 바탕으로 로봇의 자율주행 분야, 사용자 의도 및 행위 인식 분야에까지 이용될 수 있다. 따라서 로봇에 사용되는 시각 센서의 인식 성능을 향상시키는 것은 로봇의 다양한 기능 구현을 위해 반드시 필요한 요소이다.

기존의 비젼 추적 시스템은 일반적으로 영상 정보만을 이용하여 대상 추적 기능을 구현하고 있다. 이러한 비젼 추적 시스템에 주로 사용되는 영상 정보 분석 알고리즘으로는 특징점 추출(feature point extractors)을 바탕으로 인식을 수행하는 Harris, SUSAN, FAST (Features from Accelerated Segment Test) 가 있으며 특징점 사이의 유사성을 바탕으로 인식을 수행하는 NCC (Normalized Cross-Correlation), SiFT (Scale Invariant Feature Transform), SURF (Speeded Up Robust Feature)가 있다[3-8]. 위와 같은 물체의 특징점 기반 알고리즘의 경우 다양한 대상에 대해 적용이 가능하며 배경에 대해 강인하다는 장점이 있으나 동적 환경에서 영상 프레임에 발생할 수 있는 흐려짐(blurring) 현상에 취약하여 비젼 시스템이 이동하는 동적 환경에서는 인식 성능이 저하된다. 특징점 기반 알고리즘 이외에 주로 사용하는 선경계 검출 기반 알고리즘의 경우 텍스트 개체에 대해서는 인식 성능이 특징점 추출 방식에 비해 떨어지는 단점이 있다[9,10]. 특징점 기반 알고리즘과 선경계 검출 기반 알고리즘의 단점을 보완하기 위하여 템플릿(template) 기반 인식 및 추적 알고리즘이 연구되고 있으며 템플릿 기반 알고리즘의 경우 동적 환경에서도 높은 인식 성공률을 보이나 영상 정보 처리량의 증가로 고가의 영상 처리 시스템이 필요하다[11-14].

영상 정보 기반 비젼 시스템 이외에도 영상 정보와 함께 관성 센서 신호를 이용하는 생체 모방형 비젼 시스템에 대한 연구도 진행되고 있다[15-17]. 이러한 시스템은 영상 정보를 주로 활용하고 관성 센서 신호를 보조로 활용하여 비젼 시스템의 자세를 파악하고 흔들림과 같은 외란이나 회전 모션에 대해 비젼 시스템을 안정화시키는 것을 목적으로 하고 있으며 특정 사물을 추적하는 기능을 구현한 경우는 없다.

본 논문에서는 동적 환경하에서 높은 인식 성능 구현을 위하여 인체의 전정안반사(Vestibulo-Ocular Reflex) 개념을 도입한 비젼 추적 시스템을 제안하고, 실제 제작된 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템을 활용하여 평면 주행 로봇(wheeled robot)에 발생하는 선형 및 회전 운동에 대한 인식 성능을 평가하였다. 전정안반사 기능은 머리의 운동 방향과 정반대 방향으로 똑같은 속도를 가진 안구운동을 일으켜 신체의 움직임 중에도 물체의 상이 안정되게 하여 주는 인체의 반사성 안구운동으로, 인체의 귀에 위치한 전정기관인 반고리관이

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2009. 1. 30, 채택확정: 2009. 2. 25.
박재홍, 반욱, 최태영, 권현일, 조동일: 서울대학교 전기컴퓨터공학부/자동화시스템공동연구소
(jaehong@snu.ac.kr/wook30@snu.ac.kr/tychoi@snu.ac.kr/hikwon@snu.ac.kr/dicho@snu.ac.kr)
김광수: 한밭대학교 전기전자제어공학부(kskim@hanbat.ac.kr)
※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2008-F-037-01, u-로봇 HRI 솔루션 및 핵심 소자 기술개발].

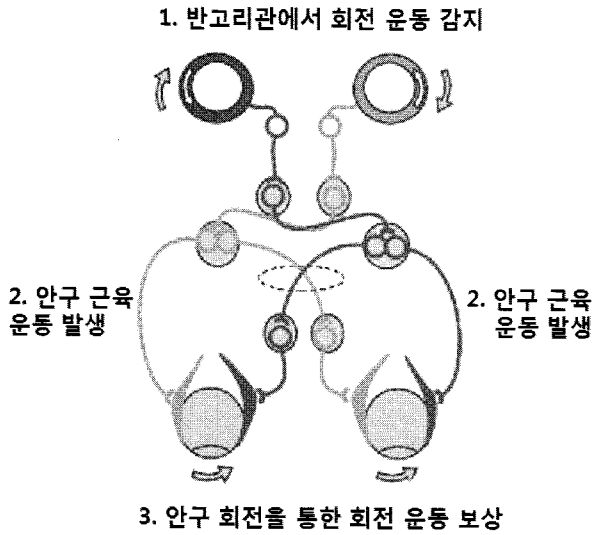


그림 1. 회전 운동에 대한 전정안반사 기능의 개념도[22].

Fig. 1. Simple conceptual diagram of angular Vestibule-Ocular reflex.

담당하는 회전운동에 대한 각(angular) 전정안반사(AVOR)와 이석기관이 담당하는 선형운동에 대한 선(linear) 전정안반사 (LVOR)가 있다[18-21]. 그림 1은 회전 운동에 대한 전정안반사 기능을 도식화한 것이다[22]. 본 논문에서 제안하는 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템은 MEMS (Microelectromechanical Systems) 센서를 이용하여 비젼 시스템의 운동을 감지하여 인식 대상을 추적하므로 기존의 영상 정보 기반 비젼 추적 시스템과 비교하여 영상 신호 처리량을 줄일 수 있으며 영상 프레임에 발생하는 흐려짐 현상이나 배경 변화에 관계없이 대상 성공적으로 추적할 수 있다.

II. 전정안반사 기반 로봇 비젼 추적 시스템의 구성

전정안반사 기반 로봇 비젼 추적 시스템의 전체적인 구성도는 그림 2와 같다. 전정안반사 기반 비젼 시스템은 선형 및 회전 운동을 감지하는 인체의 전정기관을 모사한 모션 감지 모듈, 영상 정보를 획득하는 시각 센서, 인체 안구 운동을 모사하여 시각 센서를 회전 시키기 위한 구동 모듈, 그리고 신호 처리 및 제어기 기능를 담당하는 호스트 컴퓨터로 구성이 되어 있다. 본 논문에서는 평면 주행 로봇을 위한 비젼 추적 시스템을 개발하므로 선형 및 회전 운동을 감지할 수 있도록 x/y축 가속도 센서와 z축 각속도 센서를 이용하여 모션 감지 모듈을 개발하였으며 구동 모듈은 팬(pan) 운동이 가능하도록 제작하였다. 호스트 컴퓨터와 모션 감지 모듈, 구동 모듈, 시각 센서 사이의 데이터 전송은 각각 RS485, RS232, IEEE1394A 케이블을 통해 이루어진다. 이와 같은 시스템 구성도는 카메라가 장착된 팬/틸트(pan/tilt) 모듈을 제어하여 움직이는 대상을 추적하는 시스템과 유사하다[23,24]. 이러한 팬/틸트 모듈 제어를 통해 추적을 수행하는 시스템은 영상 프레임 내에 발생하는 대상의 움직임을 바탕으로 카메라를 회전시키므로 안정적인 추적 성능을 보장하기 위해서는 대용량의 영상 정보 처리 과정을 수반한다. 하지만 본 논문에서 제안하는 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템은 영상

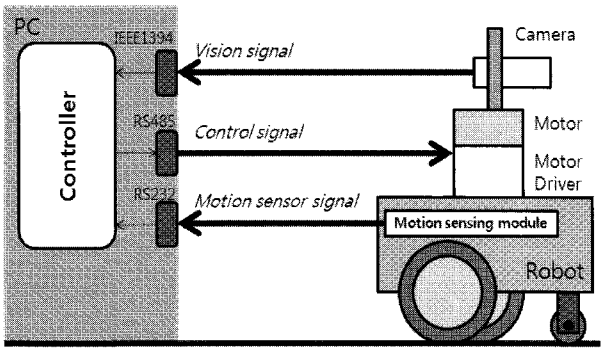


그림 2. 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템 구성도.

Fig. 2. Overall system schematic diagram of VOR based vision tracking system.

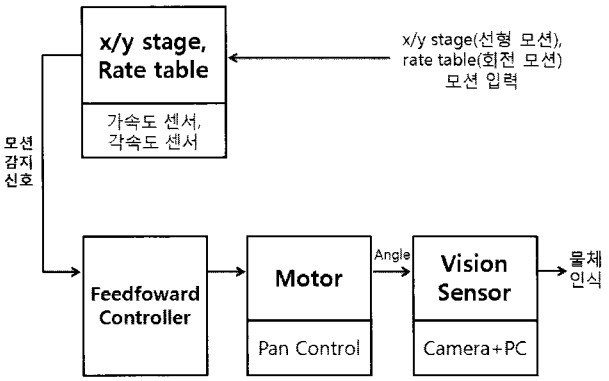


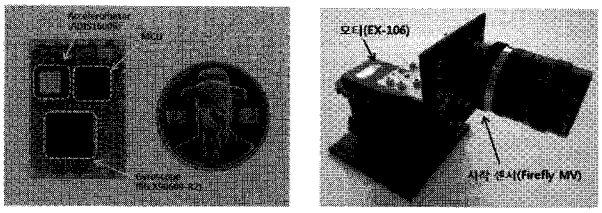
그림 3. 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 제어 구성도(블록선도).

Fig. 3. Block diagram of VOR based vision tracking system.

정보 대신 관성 센서를 이용하여 비젼 시스템의 모션을 감지하여 대상을 추적하므로 I 장에서 언급하였듯이 대용량의 영상 정보 처리를 필요로 하지 않으며 영상 프레임에 발생하는 흐려짐 현상에 관계 없이 인식 대상을 안정적으로 추적할 수 있다.

본 논문에서 다루는 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 간략한 제어 구성도는 그림 3과 같다. 로봇을 이용하여 선형 및 회전 운동을 발생시키는 경우 바퀴의 슬립 및 불규칙한 노면에 의한 오차로 인해 객관적인 인식 성능을 평가하는 것이 불가능하므로 그림 3에 나타나 있듯이 x/y 스테이지와 각속도 발생기(rate table)를 이용하여 선형 및 회전 운동을 발생시킨다. x/y 스테이지 및 각속도 발생기를 이용하여 선형 및 회전 운동이 발생하면 각각을 가속도 센서와 각속도 센서로 감지한다. 위 신호를 바탕으로 앞먹임(feedfoward) 제어에서 시각 센서의 시선 방향을 조정하기 위한 신호를 생성하게 된다. 앞먹임 제어의 신호를 받은 구동 모듈은 인식대상을 영상 프레임 중앙에 위치시키기 위하여 회전을 하게 되며 결과적으로 시각 센서의 시선은 이동 중에도 인식대상을 향하게 되는 것이다. 제안된 시스템에서는 위와 같이 비젼 시스템의 운동을 감지하기 위하여 영상 정보 대신 저가의 모션 감지 센서를 이용하므로 대용량 신호 처리를 위한 고가의 고성능 신호 처리 시스템을 필요로 하지 않는다.

전정안반사 기반 비젼 추적 시스템을 구성하는 모션 감지 모듈의 제작 결과는 그림 4(a)와 같다. 모션 감지 모듈에 적용된 MEMS 가속도 센서는 Analog Device사의 ADIS16006이고 MEMS 각속도 센서는 Melexis사의 MLX90609-R2이며 MCU (Multipoint Control Unit)로는 ATMEL사의 atmega162를 사용하였다. 제작된 모션 감지 모듈을 이용하여 측정한 모션 감지 사양은 표 1과 같다. 구동 모듈을 구성하는 모터는 로보티즈사의 EX-106을 사용하였으며 시각 센서로는 CMOS 이미지 센서가 탑재된 Point Gray사의 Firefly MV을 사용하였다. 각각의 주요 사양은 표 2와 표 3에 정리되어 있다[25,26].



(a) 모션 감지 모듈 (b) 구동 모듈

그림 4. 제작된 모션 감지 모듈과 구동 모듈.

Fig. 4. A motion sensor module and an actuation module with vision sensor.

표 1. 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템을 위한 모션 감지 모듈의 주요 성능 (측정 결과임).

Table 1. Measured performances of the motion sensor module.

선형 운동 감지 성능	Input range	± 5g
	Scale factor	245.2count/g
	Nonlinearity	0.27%FSO
	Cross axis sensitivity	<±2.0%,
	Noise density	112μg/rtHz
회전 운동 감지 성능	Input range	±140deg/s
	Nonlinearity	0.23%FSO
	Rate noise density	0.05deg/s/rtHz
	Bias stability	<0.5deg/s

표 2. 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템 제작에 사용된 시각 센서 사양.

Table 2. Specifications of the vision sensor (Firefly MV, Point Grey Research Inc.).

Image sensor	Micron MT9V022 1/3" CMOS
Max. active pixels	Wide-VGA 752 × 480pixel
Max. frame rate	752 × 480 at 60fps
Lens	Focal length 8mm

표 3. 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템 제작을 위한 구동 모듈에 사용된 모터 사양.

Table 3. Specifications of motor (EX-106, Robotis Inc.).

Type	DC motor with encoder
Input voltage	14.8 ~ 18.5V
Rotation resolution	0.07deg
Angle range	± 140deg or endless turn
Rotation speed	Max. 420deg/s

시각 센서의 경우 실제 실험에서는 해상도 및 전송 속도를 각각 320×240, 15fps로 설정하였으며 이미지 형태는 흑백 이미지로 설정하였다. 모션 감지 모듈의 신호 처리 및 구동 모듈을 컨트롤하기 위한 프로그램은 Windows 기반의 Visual C++ 6.0에서 개발하였다.

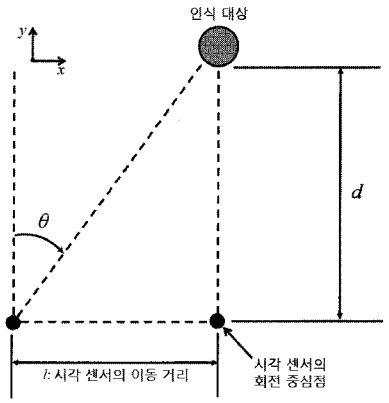
III. 평면 운동에 대한 전정안반사 기능 구현

본 논문에서는 전정안반사 기능을 구현하기 위한 기본 전제 조건으로 시각 센서와 인식대상 사이의 초기 거리는 알고 있는 것으로 가정하였다. 실제 로봇에 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템을 적용할 경우에는 초음파 센서나 레이저 센서를 적용하여 인식대상과의 거리를 측정할 수 있다.

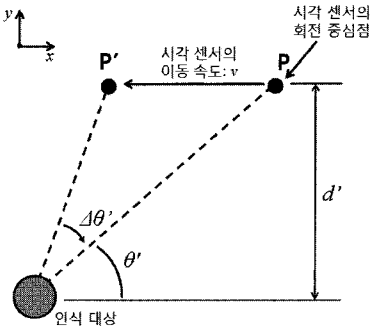
선형 운동에 대하여 그림 5(a)와 같이 시각 센서가 초기에 인식대상을 정면으로 바라보는 경우 인식대상과 시각 센서 사이의 거리가 d일 때 시각 센서가 왼쪽으로 l만큼 이동하게 되면 다음과 같은 식으로 시각 센서의 회전 각도 θ를 구할 수 있다.

$$\theta = \arctan\left(\frac{l}{d}\right) \tag{1}$$

하지만 이 경우 가속도 센서 이용한 이동 거리 측정 시 두 번의 적분을 적용하게 되므로 오차가 누적되어 궁극적으로 정확한 시각 센서의 회전 각도를 계산할 수 없다. 이에 본 논문에서는 시각 센서의 이동 거리가 아닌 이동 속도를 이용한 회전 각도를 계산하는 방법을 적용하였다. 그림 5(b)와 같



(a) 이동 거리 정보를 이용한 회전 각도 계산



(b) 이동 속도를 이용한 회전 각도 계산

그림 5. 선형 운동에 대한 시각 센서 회전 각도 계산 방법.

Fig. 5. Computation of rotation angle for linear motion.

이 시각 센서가 임의의 위치인 P의 위치에서 P'의 위치로 속도 v로 이동하는 경우 시각 센서의 회전 각도 $\Delta\theta'$는 아래와 같은 식으로 구할 수 있다[27].

$$\Delta\theta' = -\frac{\sin^2\theta'}{d'}\cdot v\cdot\Delta t \tag{2}$$

위 식에서 Δt는 모션 감지 모듈의 출력 속도를 나타낸다. 위와 같이 로봇의 속도를 이용하여 시각 센서의 회전 각도를 계산할 경우 이동 거리를 이용한 경우에 비해 적분 오차를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

회전 운동의 경우 그림 6과 같이 초기에 인식대상을 정면으로 바라보는 경우 인식대상과 시각 센서 사이의 거리가 d이고 시각 센서의 회전 중심점과 비젼 시스템의 회전 중심점 사이의 거리가 d' 일 때 비젼 시스템이 ϕ 만큼 회전하는 경우 시각 센서의 회전 각도 θ는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \arctan\left(\frac{(d+d')\sin\phi}{(d+d')\cos\phi - d'}\right) \tag{3}$$

회전 모션의 경우 비젼 시스템의 회전 각도를 각속도 센서를 이용하여 직접 구할 수 있으므로 위와 같이 외부 운동에 의한 시각 센서의 실제 회전 각도를 바탕으로 간단하게 시각 센서의 회전 각도를 계산할 수 있다.

IV. 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 결과

전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능을 평가하기 위하여 로봇용 비젼 시스템용 인식 알고리즘을 활용한 인식 성능 평가를 수행하였다. 인식 성능 평가에 사용된 인식 알고리즘은 한국과학기술연구원 인지로봇연구단에서 제공받은 것으로 PCA (Principal Components Analysis)-SiFT 알고리즘을 기반으로 인식대상을 인식하는 알고리즘이다[28]. PCA-SiFT 알고리즘은 영상 프레임 내의 중요 특성 벡터 중심으로 차원을 줄여주는 주성분 분석기법(PCA)를 적용하여 SiFT 알고리즘이 가지고 있는 단점을 개선한다. PCA-SiFT 알고리즘은 SiFT 알고리즘에 비해 영상 정보의 변화에 대해 강인하게 차이를 구별할 수 있으며 간단한 구조를 가지고 있으므로 본 논문에서 다루는 동적 환경에 대한 인식 성능 평가에 적절한 인식 알고리즘이다[28]. 한국과학기술원에서 제공받은 인식 알고리즘은 사전에 학습된 인식 대상에 대하여 인식 여부를 프로그램 상에서 출력해주므로 인식 과정에 필요한 특징점의 수와 같은 정보는 실험 과정에서 확인할 수 없으며 인식 결과를 포함한 초당 출력되는 영상 프레임 수는 인식 대상의 특징점 수에 따라 달라지나 평균 10 프레임 수준이다.

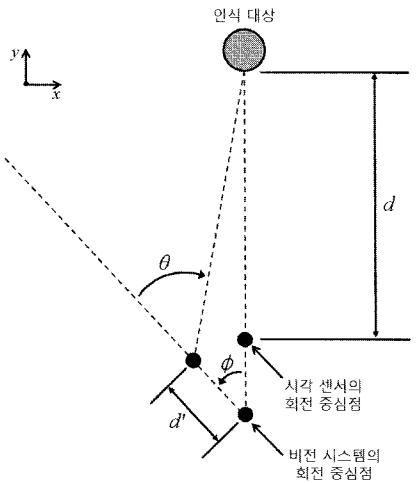


그림 6. 회전 운동에 대한 시각 센서 회전 각도.

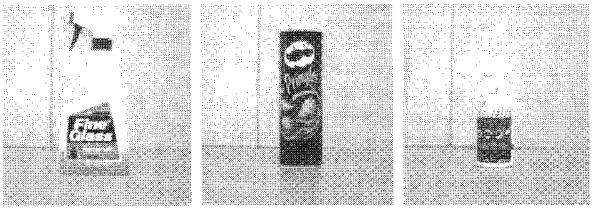
Fig. 6. Computation of rotation angle for angular motion.

전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능을 평가하기 위해 그림 7과 같이 총 3가지 인식대상에 대해 선형 및 회전 운동이 발생한 경우의 인식 성능을 평가하였다. 아울러 전정안반사 기반 비젼 시스템의 인식 성능 향상도를 평가하기 위하여 전정안반사 기능을 적용하지 않은 비젼 시스템에 대해서도 동일한 실험을 수행하여 전정안반사 기능 적용 전과 후의 인식률 변화를 비교하였다. 제안된 비젼 추적 시스템을 로봇에 실제 적용할 경우 다양한 사물에 대한 인식 기능 수행이 필수적이므로 실제 환경과 유사한 환경에서 실험을 하기 위하여 인식 대상의 개수를 3개로 정하였으며 인식 대상 사이의 유사성으로 인한 인식률 저하를 방지하기 위하여 그림 7과 같이 각각의 특징이 구별되는 인식 대상을 적용하였다. 각각의 인식 대상에 대한 인식률 측정 실험에서 초기에 시각 센서의 시선은 인식 대상의 중심을 향하고 있는 이상적인 경우에 대해 실험을 수행하였으며 실제 이동 환경에서는 추적하고자 하는 대상이 시각 센서의 시선 범위에 들어온 경우 추적을 수행하도록 하는 기능을 추가해야 한다.

II 장에서 언급하였듯이 평면 주행 로봇을 이용하여 실험을 수행할 경우 발생할 수 있는 오차를 제거하고 객관적이고 정확한 인식 성능을 평가하기 위하여 선형 운동을 구현할 수 있는 x/y 스테이지와 회전 운동을 구현할 수 있는 각속도 발생기를 활용하여 실험을 진행하였다.

1. 선형 운동에 대한 인식 성능 평가 결과

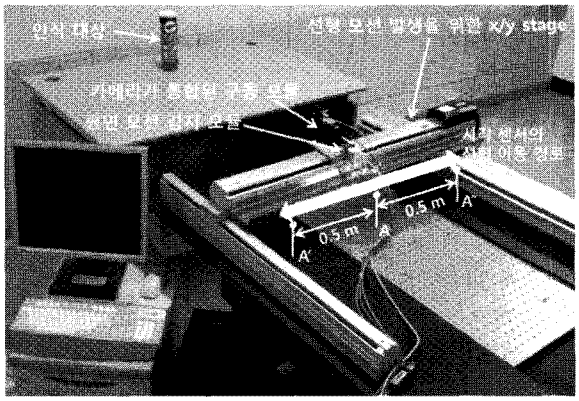
선형 운동에 대한 인식 성능 평가 환경은 그림 8과 같다. 선형 운동을 발생 시키는 x/y 스테이지 위에 구동 모듈과 시각 센서, 스테이지의 움직임을 감지 하기 위한 모션 감지 모듈을 장착하고 시각 센서로부터 1m 거리에 인식대상을 두고 실험을 수행하였다. 실험에 적용한 x/y 스테이지의 선형 이동 속도는 평면 주행 로봇의 선형 이동 사양을 참고하여 0.2m/s, 0.4m/s로 정하였으며 이동 범위는 1m로 정하였다. 그림 8(b)에서 확인할 수 있듯이 선형 이동에 따라 시각 센서를 회전



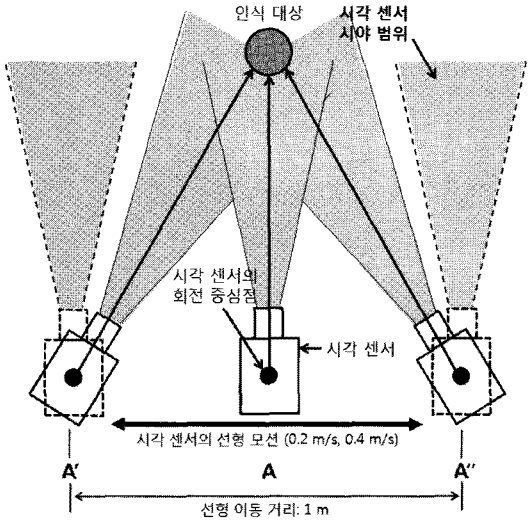
(a) 인식대상 #1 (b) 인식대상 #2 (c) 인식대상 #3

그림 7. 전정안반사 기능을 적용한 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가에 사용된 3가지 인식대상.

Fig. 7. Three targets which are used for recognition experiments.



(a) Picture of experimental setup.



(b) Schematics of experimental setup.

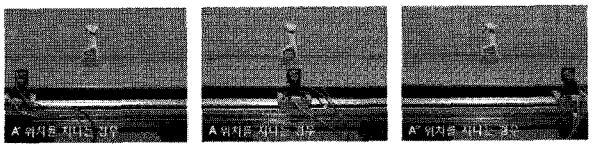
그림 8. 선형 운동에 대한 인식 성능 평가 환경.

Fig. 8. Test setup for linear motion.

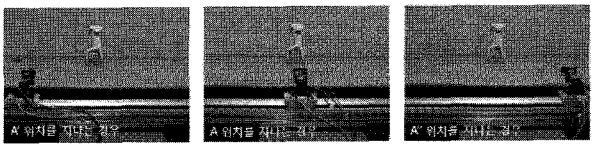
시키지 않는 경우(점선으로 표시) 시각 센서가 A'와 A" 위치를 지나게 되면 인식대상이 시각 센서의 시야에서 벗어나게 된다.

그림 9는 실제 실험에서 전정안반사 기능을 적용하지 않은 비젼 시스템과 전정안반사 기능을 적용한 비젼 추적 시스템에 대해 선형 운동에 대한 카메라 시선 변화 차이를 보여주고 있다. 그림 9(b)와 같이 전정안반사 기능을 적용한 비젼 추적 시스템은 위치가 변화하더라도 시각 센서의 시선이 항상 인식대상을 향하고 있음을 확인할 수 있다.

선형 운동에 대한 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 결과 출력되는 영상 프레임은 그림 10과 그림 11과 같다. 그림 10에서 확인할 수 있듯이 전정안반사 기능을 적용하지 않은 비젼 시스템의 경우 선형 운동에 의해 시각 센서가 A', A" 위치를 지나는 경우 인식대상이 영상 프레임을 벗어나서 인식을 할 수가 없는 경우가 발생한다. 시각 센서가 A 위치를 지나는 경우 인식대상이 영상 프레임에 들어오게 되지만 선형 이동 속도가 0.4m/s로 증가하는 경우에는 흐려짐 현상이 심하게 발생하여 성공적으로 인식을 하지 못하게 된다. 반면에 전정안반사 기능을 적용한 비젼 추적 시스템의 경우 0.4m/s 속도로 비젼 시스템이 이동을 하더라



(a) 전정안반사 기능을 적용하지 않은 경우



(b) 전정안반사 기능을 적용한 경우

그림 9. 시각 센서의 위치에 따른 시선 방향 변화.

Fig. 9. Comparisons of the line of sight changes between non-VOR based vision system and VOR based vision system.

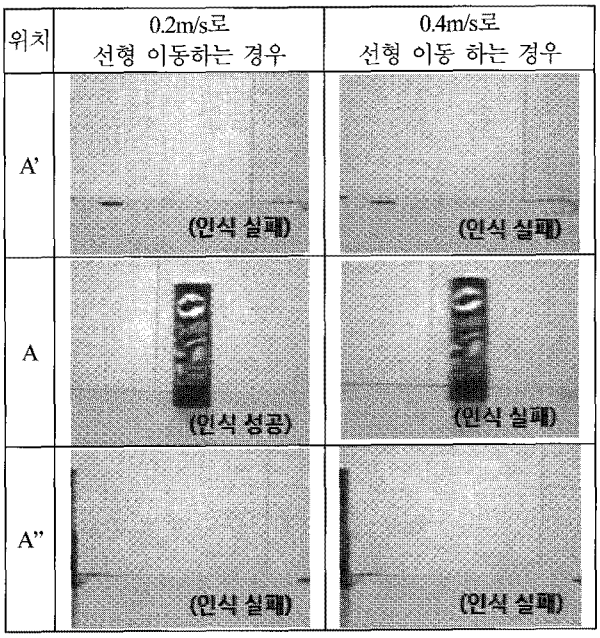
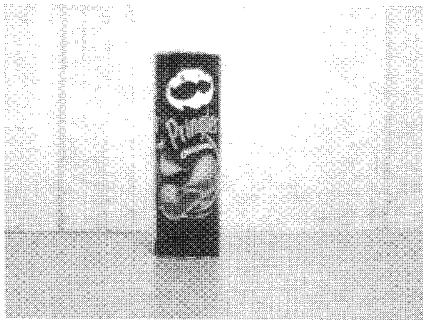


그림 10. 전정안반사 기능을 적용하지 않는 비젼 시스템의 선형 운동에 대한 인식 성능 평가 화면(인식대상 #2에 대한 실험 결과).

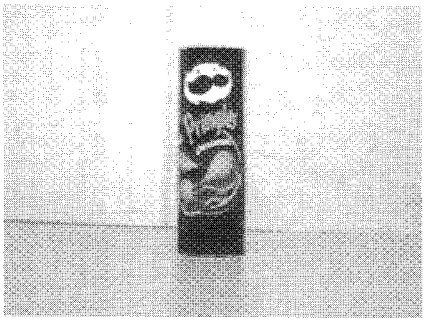
Fig. 10. Output images of recognition experiments for linear motion (non-VOR based vision system).

도 인식대상이 영상 프레임을 벗어나는 경우가 없으며 그림 11에서 확인할 수 있듯이 흐려짐 현상이 현저하게 줄어들어 인식대상을 성공적으로 인식한다.

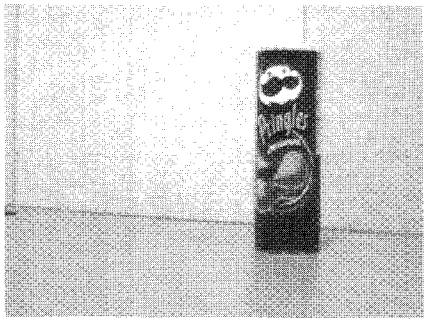
표 4와 그림 12에 선형 운동에 대한 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 결과를 정리되어 있다. 인식대상에 따라 인식 성능 향상도에 차이가 있으나 전정안반사 기능을 적용하였을 경우 선형 이동 속도가 0.4m/s일 때 평균 5배 이상 인식률이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 인식률은 인식이 성공한 영상 프레임 수를 인식 알고리즘에서 출력된 총 영상 프레임 수로 나누어서 구하였다. 한국과학기술연구원 인지로봇연구단에서 제공받은 인식 알고리즘은 PCA-SiFT 기반 인식 알고리즘으로 SiFT 알고리즘에 비해 강인한 인식 특성을 가지고 있으나 심한 흐려짐 현상이 발생하



(a) A' 위치를 지나는 경우(인식 성공)



(b) A 위치를 지나는 경우(인식 성공)



(c) A" 위치를 지나는 경우(인식 성공)

그림 11. 0.4m/s로 선형 운동 시 전정안반사 기능을 적용한 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 화면(인식대상 #2에 대한 실험 결과).

Fig. 11. Output images of recognition experiments for 0.4 m/s linear motion (VOR based vision tracking system).

표 4. 선형 운동에 대한 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 결과.

Table 4. Measured recognition rates of two vision systems for linear motion.

	선형 이동 속도	전정안반사 기능 적용 여부	인식률(%)
인식대상 #1	0.2m/s	×	50.0
	0.4m/s	×	10.0
		O	100.0
인식대상 #2	0.2m/s	×	48.2
	0.4m/s	×	26.3
		O	75.0
인식대상 #3	0.2m/s	×	27.6
	0.4m/s	×	15.0
		O	61.1

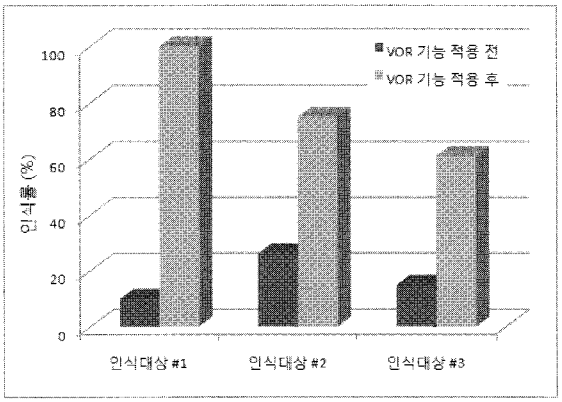


그림 12. 0.4m/s로 선형 이동을 하는 경우 전정안반사 기능 적용 전/후의 인식 성능 비교.

Fig. 12. Comparison of recognition rate of non-VOR based tracking system and VOR-based one (0.4m/s linear motion).

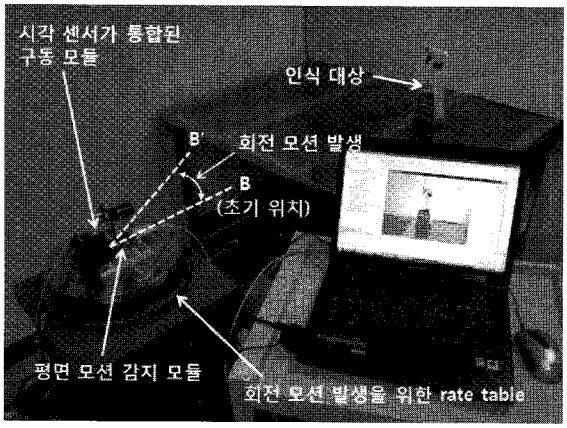
는 경우에는 특징점을 정확하게 구별하지 못하므로 인식 성능이 저하된다. 따라서 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템에서는 인식대상이 영상 프레임을 벗어나는 경우가 없을 뿐 아니라 흐려짐 현상이 현저하게 줄어들게 되므로 동일한 인식 알고리즘과 인식대상에 대해 인식 성능이 크게 증가한다.

2. 회전 운동에 대한 인식 성능 평가

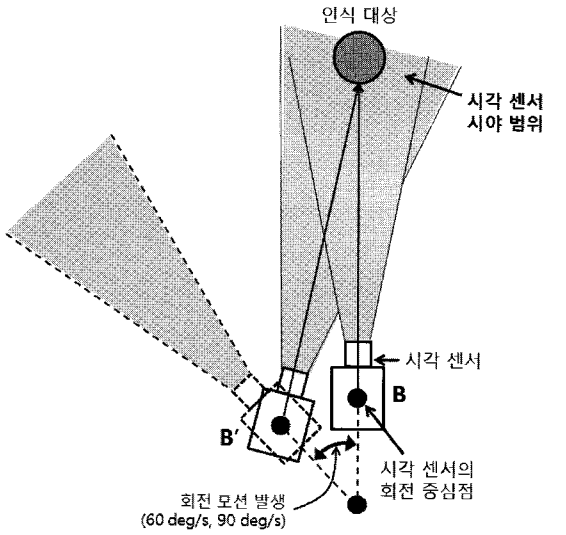
회전 운동에 대한 인식 성능 평가 환경은 그림 13과 같다. 회전 운동을 발생시키는 각속도 발생기 위에 구동 모듈과 시각 센서, 모션 감지 모듈을 장착하고 시간 센서로부터 1.1m 거리에 인식대상을 두고 실험을 수행하였다. 회전 방향은 인식대상을 바라보는 방향을 기준으로 왼쪽이며 회전 각도는 20~30°이다. 회전 이동 속도는 평면 주행 로봇의 회전 이동 사양을 고려하여 60deg/s, 90deg/s로 정하였다. 선형 운동에 대한 평가와 마찬가지로 회전 운동에 대한 평가에서도 전정안반사 기능을 적용하지 않은 경우 그림 13(b)에 나타나 있듯이 인식 대상이 시각 센서의 시선 범위(점선으로 표시)를 벗어나게 되지만, 전정안반사 기능을 적용한 경우 시각 센서를 회전시켜서 인식대상이 시각 센서의 시선 범위를 벗어나지 않게 된다.

그림 14는 전정안반사 기능을 적용하지 않은 비젼 추적 시스템과 전정안반사 기능을 적용한 비젼 추적 시스템에 대해 회전 운동이 발생한 경우 시각 센서의 시선 방향 변화를 보여주고 있다. 선형 운동에 대한 평가와 마찬가지로 전정안반사 기능을 적용한 경우 시각 센서의 시선 방향이 항상 인식대상을 향하고 있음을 확인할 수 있다.

회전 운동에 대한 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 결과 출력되는 영상 프레임은 그림 15와 그림 16과 같다. 전정안반사 기능을 적용하지 않은 비젼 시스템의 경우 회전 운동이 발생하게 되면 그림 15에서 확인할 수 있듯이 인식대상이 영상 프레임을 벗어나서 인식을 할 수 없는 경우가 발생한다. 또한 영상 프레임에 들어오는 경우에도 회전 이동 속도가 90deg/s로 증가하게 되면 흐려짐 현상이 심해져서 인식대상을 인식하지 못하게 된다. 반면에 전정안반사 기능을 적용한 비젼 추적 시스템의 경우 회전 운동이 발생하는 경우에도 인식대상이 영상 프레임을 벗어나는 경우



(a) Picture of experimental setup.



(b) Schematics of experimental setup.

그림 13. 회전 운동에 대한 인식 성능 평가 환경.

Fig. 13. Test setup for angular motion.

(a) 전정안반사 기능을 적용하지 않은 경우

(b) 전정안반사 기능을 적용한 경우

그림 14. 회전 운동에 의한 시각 센서의 위치에 따른 시선 방향 변화.

Fig. 14. Comparisons of the line of sight changes between non-VOR based vision system and VOR based vision system for angular motion.

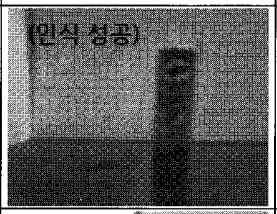
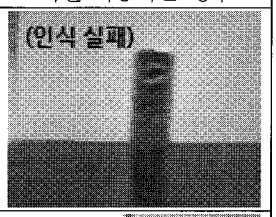
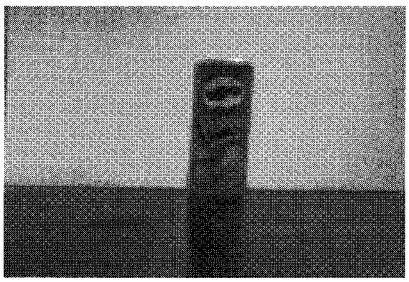
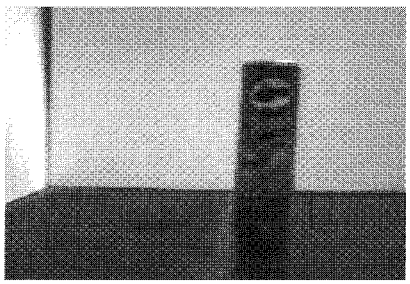
위치	60deg/s으로 회전 이동하는 경우	90deg/s으로 회전 이동하는 경우
B		
B'		

그림 15. 전정안반사 기능을 적용하지 않는 비젼 시스템의 회전 운동에 대한 인식 성능 평가 화면(인식대상 #2에 대한 실험 결과).

Fig. 15. Output images of recognition experiments for angular motion (non-VOR based vision system).



(a) B에 위치한 경우(인식 성공)



(b) B'에 위치한 경우(인식 성공)

그림 16. 90deg/s으로 회전 운동 시 전정안반사 기능을 적용한 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 화면(인식대상 #2에 대한 실험 결과).

Fig. 16. Output images of recognition experiments for 90deg/s angular motion (VOR based vision tracking system).

가 없으며 그림 16에서 확인할 수 있듯이 90deg/s로 회전운동을 하더라고 흐려짐 현상이 현저하게 줄어들어 비젼 시스템의 위치에 관계없이 인식대상을 성공적으로 인식하게 된다.

회전 운동에 대한 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 결과를 표 5와 그림 17에 정리하였다. 선형 운동에 대한 평가 결과와 마찬가지로 인식대상에 따라서 인식률 향상도에 차이가 있으나 회전 이동 속도가 90deg/s인 경우 인식대상 #1에 대해서는 6.4배, 인식대상 #2에 대해서는

표 5. 회전 운동에 대한 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능 평가 결과 정리.

Table 5. Measured recognition rates of vision tracking system for angular motion.

	회전 이동 속도	전정안반사 기능 적용 여부	인식률 (%)
인식대상 #1	60deg/s	×	15.9
	90deg/s	×	15.6
		O	100.0
인식대상 #2	60deg/s	×	15.4
	90deg/s	×	10.4
		O	95.0
인식대상 #3	60deg/s	×	5.1
	90deg/s	×	0.0
		O	79.3

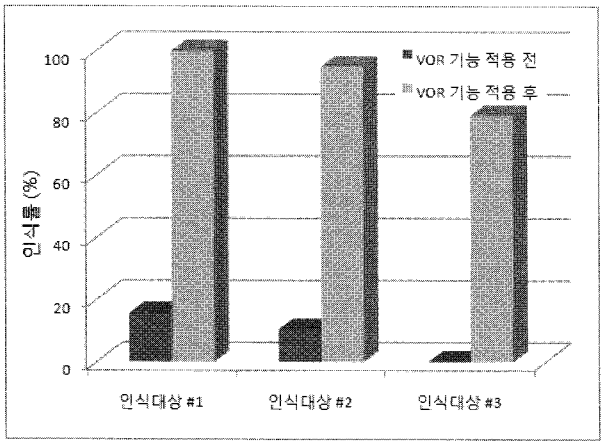


그림 17. 90deg/s로 회전 이동을 하는 경우 전정안반사 기능 적용 전/후의 인식 성능 비교.

Fig. 17. Comparison of recognition rate of non-VOR based tracking system and VOR-based one (90 deg/s angular motion).

9.1배 이상 인식률이 향상되었으며 인식대상 #3에 대해서는 전정안반사 기능을 적용하지 않은 경우에는 전혀 인식을 하지 못하였으나 전정안반사 기능을 적용한 경우 인식률이 79.3%로 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 인식 성능 향상의 원인은 IV-1 장에서 언급하였듯이 전정안반사 기능 적용을 통해 시각 센서의 시선이 인식대상에 고정되어 있으므로 인식대상이 비젼 시스템의 영상 프레임을 벗어나지 않게 되며 아울러 흐려짐 현상이 현저하게 줄어들기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템을 제안하고 실제 시스템을 제작하여 선형과 회전 운동에 대한 인식 성능을 평가하였다. 제안된 시스템은 인체의 전정안반사 기능을 비젼 시스템에 적용하여 동적 환경에서도 인식대상을 영상 프레임 중앙에 위치시킴으로써 비젼 시스템의 안정도 및 인식 성능을 향상시킬 수 있다. 실제 로봇 비젼 시스템에서 사용하는 인식 알고리즘을 이용하여 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템의 인식 성능을 평가한 결과 선형 운동과 회전 운동이 발생하더라도 인식대상이 영상 프레임을 벗어나지 않으며 전정안반사 기능을 적용하지 않은 비젼 시스템과 비교하여 전정안반사 기반 비젼 추적 시스템에서는 영상 프레임 내 흐려짐 현상이 현저하게 줄어들어 인식 성능이 크게 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 제안한 전정안반사 기반 추적 시스템은 인식 대상의 움직임을 파악할 수 없으므로 평면 주행 로봇이 정지된 사물을 인식하고 인식 대상을 향해 이동하는 경우에 대해 한정적으로 활용이 가능하다. 따라서 향후 움직이는 사물의 이동 정보를 파악하는 비젼 추적 알고리즘을 본 시스템에 적용하여 경우 로봇과 인식 대상이 모두 움직이는 환경에서 동작하는 비젼 추적 시스템을 개발할 수 있을 것이다. 이 경우에도 영상 정보와 함께 로봇의 이동 정보를 관성 센서로부터 구할 수 있으므로 영상 정보만을 이용한 비젼 추적 시스템에 비해 영상 정보 처리량을 줄인 상태에서도 안정적인 추적 성능과 높은 인식 성공률을 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 조동일, "지능형 로봇 센서," 주간기술동향, 통권 1183호 pp. 31-41, 2005.

[2] 조재일, 최승민, 장지호, 황대환, "지능형 로봇 스테레오 비젼 처리 기술," 전자통신동향분석, 제22권 제2호, pp. 38-47, 2007.

[3] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," *Proc. of the 4th Alvey Vision Conference*, pp. 147-151, 1988.

[4] S. M. Smith and J. M. Brady, "SUSAN—A new approach to low level image processing," *Defence Research Agency, Technical Report no. TR95SMS1*, Farnborough, England, 1994.

[5] E. Rosten and T. Drummond, "Machine learning for high-speed corner detection," *Proc. of the 9th European Conf. Computer Vision*, pp. 430-443, 2006.

[6] J. P. Lewis, "Fast normalized cross-correlation," *Vision Interface*, pp. 120-123, 1995.

[7] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," *Proc. of the International Conf. Computer Vision*, pp. 1150-1157, 1999.

[8] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. V. Gool, "SURF: Speeded up robust features," *Proc. of the 9th European Conf. Computer Vision*, pp. 404-417, 2006.

[9] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 8, no. 6, pp. 679-698, 1986.

[10] W. Foerstner, "A framework for low level feature extraction," *Proc. of the 3rd European Conf. Computer Vision*, pp. 383-394, 1994.

[11] R. Marfil, A. Bandera, J. A. Rodriguez, and F. Sandoval, "Real-time template-based tracking of non-rigid objects using bounded irregular pyramids," *Proc. of Intelligent Robots and Systems, 2004*, vol. 1, pp. 301-306, 2004.

[12] H. Ai, L. Liang, and G. Xu "Face detection based on template matching and support vector machines," *Proc. of International Conf. Image Processing*, vol. 1, pp. 1006-1009, 2001.

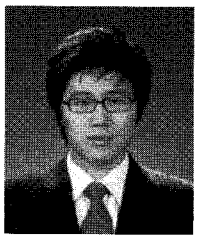
[13] M. Juza, K. Marik, J. Rojicek, and P. Stluka, "3D template-based single camera multiple object tracking," *Proc. of 2006 Computer Vision Winter Workshop*, 2006.

[14] 김현기, 이진형, 조성원, 정성태, 김재연, "적응적 3 프레임 차분 방법 기반 템플릿을 이용한 객체 추적," 퍼지

및 지능시스템학회 논문지, 제17권 제3호, pp. 349-354, 2007.
[15] J. Lobo and J. Dias, "Inertial sensed ego-motion for 3D bision," *Journal of Robotic Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 3-12, 2004.
[16] R. Kaushik, M. Marcinkiewicz, J. Xiao, S. Parsons, and T. Raphan, "Implementation of Bio-inspired vestibulo-ocular reflex in a quadrupedal robot," *Proc. of 2007 IEEE International Conf. Robotics and Automation*, pp. 4861-4866, 2007.
[17] S. Xie, J. Luo, P. Xie, Z. Gong, and H. Zou, "Biomimetic control of pan-tilt-zoom camera mounted on an autonomous helicopter," *Proc. of International Conf. Mechatronics and Automation 2007*, pp. 2003-2008, 2007.
[18] M. Ito, "Cerebellar learning in the vestibulo-ocular reflex," *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 2, no. 9, pp. 313-321, 1998.
[19] M. E. Goldberg, "Principles of neural science, chapter the control of gaze," McGraw-Hill, New York, 4th edition, pp. 782-798, 2000.
[20] 정원호, 정재윤, "전정안반사," 대한평형의학회지, 제2권 제1호, pp. 26-35, 2003.
[21] 이홍엽, 방충일, 오현진, "전정안반사 검사: 칼로릭 검사와 회전 자극 검사," 대한평형의학회지, 제3권 제2호, pp. 289-304, 2005.
[22] http://en.wikipedia.org/wiki/Vestibulo-ocular_reflex
[23] Y.-S. Shiao, "Design and implementation of real-time tracking system based on vision servo control," *Journal of Science and Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 45-58, 2001.
[24] A. Biswas, P. Guha, A. Mukerjee, and K. S. Venkatesh, "Detecting and tracking intruders using a pan-tilt surveillance system," *Proc. of International Conf. Visual Information Engineering*, 2006.
[25] http://www.robotis.com/
[26] http://www.ptgrey.com/
[27] W. Bhan, "Method of improving vsion tracking in mobile robots using inertial sensor with Vestibule-Ocular Reflex algorithms," Master Degree Thesis, Seoul National University, 2009.
[28] Y. Ke and R. Sukthankar, "PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors," *Proc. of IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 506-513, 2004.

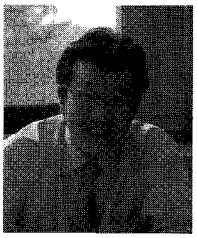
박 재 흥

2002년 서울대학교 전기공학부 졸업. 2004년 서울대학교 전기 · 컴퓨터공학부 석사 졸업. 2004년~현재 서울대학교 전기 · 컴퓨터공학부 박사과정 재학중. 관심분야는 MEMS 센서 개발 및 응용.



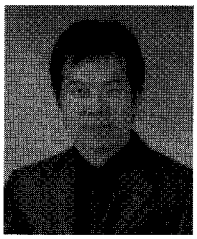
최 태 영

2007년 고려대학교 전파통신공학부 졸업. 2007년~현재 서울대학교 전기 · 컴퓨터공학부 석사과정 재학중. 관심분야는 MEMS 센서 개발 및 응용.



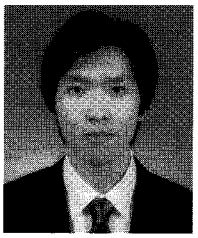
조 동 일

1958년 6월 15일생. 1980년 미국 Carnegie Mellon University, 기계공학(공학사). 1984년 미국 Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 기계공학(공학석사). 1987년 미국 Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 기계공학(공학박사). 1987년~1993년 Princeton University 기계항공우주공학과 조교수. 1993년~현재 서울대학교 전기 · 컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 MEMS 센서 소자 개발 및 응용, Bio MEMS 소자 개발 및 응용, 제어시스템, 모바일로봇 등.



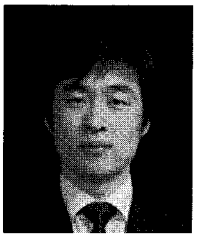
반 욱

2007년 서울대학교 전기공학부 졸업. 2007년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정 재학중. 관심분야는 MEMS 센서 신호 처리 ASIC 개발 및 응용.



권 현 일

2008년 경희대학교 전자공학과 졸업. 2008년~현재 서울대학교 전기 · 컴퓨터공학부 석사과정 재학중. 관심분야는 제어시스템 및 로봇 비젼 시스템 개발.



김 광 수

1996년 서울대학교 전기공학부(공학사). 1998년 서울대학교 전기공학부(공학석사). 2004년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사). 2004년~2007년 삼성전자 TN총괄 책임연구원. 2007년~2008년 현대자동차 CL사업부 과장. 2008년~현재 한밭대학교 전기전자제어공학부 전임강사. 관심분야는 제어시스템, 모바일로봇, 텔레매틱스 등.