
시각과 평형각이 융합된 다이나믹한 시각 시스템에 관한 연구

문용선* · 정남재**

A Study on Dynamically Visual System
that Vision and Sense of Equilibrium are Fused

Yong-seon Moon* · Nam-chae Jung**

요 약

카메라로 얻어진 화상을 근거로 계산된 속도분포를 시각정보로 이용하였으며, 이것으로부터 얻어진 대상물의 속도에 시선속도를 일치시켜 실험하였다. 즉 외란을 받은 환경에서도 안정된 화상을 얻기 위해서 외란이나 카메라 자체의 운동에 의해서 발생한 두부의 운동을 보상할 수 있는 눈의 운동이 필요하게 된다.

본 논문에서는 외란이 있는 환경에서 인간의 시선제어법 즉 시각과 평형각이 융합된 시선제어 알고리즘을 제안하고, 그에 대한 실험 결과에서 시각과 평형각이 융합된 시선제어가 시선제어만을 한 것과 비교하여 위치 편차가 적다는 것을 확인하였다. 이것은 카메라 받침대의 움직임이 각속도 센서에 의하여 보상되어 겉보기 속도가 적게 되어 속도의 추정오차도 적게 되는 효과가 있기 때문이었다.

ABSTRACT

Calculated velocity distribution was used to visual information by image that is obtained from camera. The visual velocity of object that is obtained from this visual information were fused and experimented. That is, need motion of eye that motion of head that happen by external disturbance or move of camera itself to get stable image in environment that receive external disturbance can be compensated.

In this treatise, algorithm that control gaze which vision and sense of equilibrium are fused in environment with external disturbance proposed, and thing that compare with that it controls gaze only that control gaze which vision and sense of equilibrium are fused in the experiment result and position deflection is few confirmed. This was because action of camera prop is effect that record conclusion error of the speed because the appearance speed is decreased being compensated by angular velocity sensor.

키워드

Vision, Head Eye, Angular velocity sensor, Equilibrium

* 순천대학교 전자공학과

접수일자: 2001. 12. 14

** 초당대학교 정보통신공학과

I. 서 론

인간의 시각기능을 기계가 대신하는 것을 목표로 연구하는 분야를 컴퓨터 비전이나 로봇 비전이라고 하며 지금까지 다양한 방법이 연구되었다. 최초에는 화상의 해석으로 시작하였으며 실화상을 대상으로 하여 깊이 정보를 얻는 양안 입체시, 농담, 화상 패턴의 distortion 등을 기록한 2차원 화상으로부터 화상정보를 추출하는 방법 등을 개발하여 3차원 모델의 구축 등으로 발전하였다. 비전이란 범주 내에서 검토, 개발되었기 때문에 직접 그 실험결과를 실제로 로봇이 작업을 수행하는데 이용하기에는 충분하지 못했다. 이와 같은 배경에서 최근에는 능동시각(active vision)과 같은 시각과 운동을 융합한 연구가 집중되고 있다[1,2,3]. 이러한 연구의 공통적인 특징은 시각계측이 화상처리 라든가 정경의 해석에만 적용하는 것이 아니라, 시각을 외계와 상호작용하는 것으로 취급하는 것이다. 이러한 방법으로 지금까지는 정경 해석에 중요한 문제점을 자신의 운동에 의하여 해결할 수 있다고 생각했다[4].

그러나 능동 시각의 연구가 관측자 자신은 고작 평면상의 운동으로 한정하고 있는 등 정리된 환경을 전제로 하였지만 본 연구에서는 정리되지 않는 환경에도 대응시키고자 한다. 다시 말해서 이동 로봇 등의 관측자가 요철이 심한 지면 등의 3차원적인 표면 위를 이동할 경우나, 관측자 자신이 여러 번 걷는 것과 같은 다이나믹한 운동을 하는 경우, 종래의 하드웨어에서 눈이 두부, 또는 팔에 고정되어 있기 때문에 얻어진 화상은 아주 심하게 흔들려 충분한 시각 계측을 할 수 없었다[4,5,6]. 위에서 설명한 외란을 받은 환경에서도 안정된 화상을 얻기 위해서는 외란이라든가 자신의 운동에 의해서 발생한 두부의 운동을 보상할 수 있는 눈의 운동이 필요하게 된다.

본 논문에서는 위에서 설명한 것처럼 외란이 있는 환경에서 인간의 시선제어법 즉 시각과 평형각이 융합된 시선제어 알고리즘을 제안하고, 실험 결과를 검토한 후 마지막으로 연구 방침을 언급하고자 한다.

II. 인간의 안구 운동

인간의 안구 운동을 대별하면 좌우 양안이 같은 방향으로 운동하는 共役性 안구운동과 다른 방향으로 운동하여 입체적으로 관측할 수 있는 輛輶開散 운동으로 분류할 수 있다. 공역성 안구 운동은 衝動性 운동(saccadic movement), 滑動性 追跡 운동(smooth pursuit movement), 前庭性 운동(vestibular movement), 視機性 운동(optokinetic movement)의 4종류로 구분할 수 있다. 전정성 및 시기성 운동 시스템은 머리가 움직일 때 외계의 이미지가 망막 위에 흔들리는 것을 막는 운동으로 양자는 기능적으로 서로 보완되며, 신경회로에서도 공유관계가 있다[7].

1. 前庭性動眼反射(vestibulo-ocular reflex : VOR)

전신을 움직이는 걷기 운동을 시작할 때 두부는 외계에 대하여 상당한 흔들림이 발생하지만 시각에는 흔들림이 발생하지 않는다. 이것은 두부의 회전에 반하여 이것을 제거하도록 안구를 역방향으로 회전시켜, 외계에 대한 시축방향을 일정하게 유지하는 보상성의 운동이 발생하기 때문이다. 두부의 빠른 운동에 대하여 가장 중요한 역할을 하는 것은 前庭迷路, 특히 달팽이관에서 유래한 전정동안반사이다. VOR은 시각의 feedback으로 시선방향을 안정된 기능과는 별도로 아주 어두운 곳에서도 발생하는 반사이다. 인간의 VOR의 반사 이득(눈의 각속도/두부의 각속도)은 0.6~0.8로 VOR의 반사만으로는 시선을 정지시킬 수 없다. 그러나 주변공간의 구조를 명료하게 파악한 경우 이득은 거의 1로 증가하여 시선은 정지한다. 이것으로부터 시각이 존재하면, feedforward 적 역할을 하는 VOR과 feedback적 역할을 하는 추적 운동이나 시기성 운동이 상대적으로 중요한 역할을 하게 된다.

2. 視機性眼球運動(optokinetic eye movement)

두부의 회전이 한쪽 방향으로 지속되면, 보상성의 안구운동과 역방향의 급속한 운동이 교대로 나타나게 된다. 이것을 前庭性 眼振이라고 부르지만, 내측에 비단 모양의 원통 스크린을 이용하고, 시각외계(visual surround) 전체를 회전시켜 전정성 안전과 아주 잘 맞는 교대성의 안구운동이 발생한다. 이것을 시기성(視運動性) 안전이라고 부른다. 속도가 완만한 안전은 시각외계의 회전방향과 같으며, 기능적으로는 전정성 보

상운동과 같고 망막 위에서 이미지의 미끄러짐을 감소시키도록 작용한다.

3. 전정성운동과 시기성운동의 보상적 역할

시기성 운동은 망막 주변부를 포함하여 광범위한 외계의 이미지가 한 가지 모양으로 동작할 때에 가장 뚜렷하게 발생한다. 자연스러운 조건하에 이와 같은 자극이 주어진다는 것은 실제로 두부의 회전에 의하여 상대적으로 시각외계가 변하는 경우이다. 시주위를 회전시키는 인공적인 자극을 이용할 때에 자각은 외계보다 자기의 운동감을 수반하는 것도 시기성운동이 본래 두부의 움직임에 대응하는 운동이다는 것을 알 수 있다. 가능적으로는 VOR이 주파수가 높은 과도기적인 두부의 회전을 보상하는 것인 반면, 시기성운동은 주파수가 낮은 지속적인 회전에 중요한 역할을 한다.

III. 시각과 평형각이 융합된 시선제어 알고리즘

II장에서 인간의 시각제어법을 설명하였지만, 공학적으로 정리되지 않은 환경에서 시각계측을 자율적으로 행하여도 바람직하지 않은 자기나 대상 운동 이외의 외란의 영향을 배제하는 대상물을 주시하는 기능이 필요하게 된다[7]. 만약 시각 이미지의 안정화와 대상물의 주시가 달성되었다면, 정지화상을 대상으로 한 종래의 화상인식법의 대부분이 그대로 적용될 수 있게 되고 정리되지 않은 환경에서 곤란하였던 시각계측이 대부분 해결될 수 있을 것이다. 여기서 중요한 것은 이러한 화상인식법과 시각 이미지의 안정화나 대상물의 주시를 분리하여 실현할 수 있을 것이며, 이것은 시각 시스템의 설계가 쉬워지고 확장에 유리할 것이다.

실제 인간의 시각 시스템에는 시각 이미지의 안정화 또는 대상물의 정위치, 일정한 기초기능은 인식 등의 고차기능을 도입한 시스템과는 달리 구비되어 있다. 이러한 점에서 시각의 기초기능을 시각과 평형각이라고 하는 복수의 감각을 융합(sensor fusion)시켜 이것을 실현하는 연구를 하였다.

1. Sensor Fusion

인간은 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각과 같은 감각기관을 이용하여 외계로부터의 정보를 받아들인다. 그

때 각각의 센서로부터의 정보는 애매모호한 것, 또는 일부 정보의 결합 등이 있음에도 불구하고 그러한 센서 정보를 상호간에 보간, 통합하고, 또는 지식과 조합하여 외계의 변화나 사물을 정확하게 인식하여 판단하는 것이다. 이와 같이 복수의 다른 센서로부터 데이터를 융합하여 처리함으로써 단일의 센서로는 얻을 수 없는 새로운 인식기능을 공학적으로 실현하고자 하는 기술이 센서 퓨전이다[8,9].

센서 퓨전은 지능 로봇, 제조업, 항공기, 자동차 등이 있으며, 최근에는 여러 종류의 많은 센서 정보에 대한 효과적인 처리가 특히 주목되는 분야이다.

구체적으로 이동체에 탑재된 시각 시스템에 있어서 시각 이외의 다른 감각을 융합하여 어떻게 하면 효과적으로 실현할 수 있는지를 검토한다. 그것은 시각 이외의 정보, 예를 들면, 청각정보를 이용하여 대상물의 방향을 판별하고, 계측 대상이 어우러져 복잡한 것이 얻어진다. 그러한 것에서 외계의 넓은 범위에 대하여 화상인식처리를 하고, 그 결과로부터 흥미 있는 대상을 절단하여 구분하는 방법보다도 효과적인 계측을 할 수 있다. 평형각 정보를 얻어 자기 운동의 영향을 배제하는 것도 마찬가지의 이점이 있을 것이다.

2. 융합에 관한 수치 해석

시스템의 목표를 시각 이미지의 안정화와 대상물의 주시로 할 경우 시각과 평형각의 융합을 구체적으로 어떤 방법으로 실현할 것인가를 검토해야 한다. 로봇이나 이동체에서 시각 시스템과 평형각 시스템이 융합된 상태를 그림 1에 블록도로 표시한다. 이 그림은 카메라와 gyro 및 카메라 구동용 모터를 탑재한 시각 이미지의 안정화나 운동 대상물의 주시 등을 하는 이동체의 시각 시스템의 기본 구조를 표시하고 있다.

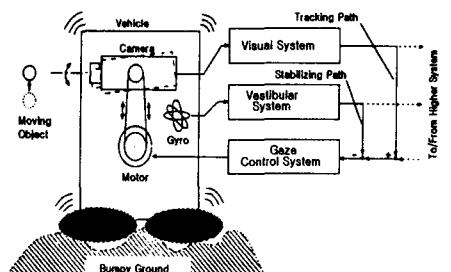


그림 1. 융합 시스템의 구성
Fig. 1 Configuration of fusion system.

여기서, θ_{obj} 를 대상물의 방위, θ_{body} 를 이동체 자체의 방향, θ_{eye} 를 카메라의 이동체 방향, θ_{vis} 를 카메라에 대한 대상물의 방위(이것은 화상 평면의 대상을에서 알 수 있다)로 한다. 다음부터 자기 또는 대상의 운동은 각도만으로 표시된 것으로 단순화한 것이다. 이 경우, 이러한 양의 사이에는

$$\theta_{obj} = \theta_{body} + \theta_{eye} + \theta_{vis} \quad (1)$$

식 (1)과 같은 필요조건이 성립한다. 이것으로부터 그림 1과 같은 시각 시스템은 식 (1)을 융합하기 위한 기본적인 구조라고 할 수 있다. 역으로 의미있는 융합을 하는 데에는 식 (1)로 표시된 필요조건이 성립해야 한다.

실제로 식 (1)에서 시야 이미지의 안정화를 위해서, 즉 이동체 자체의 방향 θ_{body} 와 카메라에 대한 대상물의 방위 θ_{vis} 의 관계가 식 (2)처럼 같기 위해서는 식 (3)을 만족해야 한다.

$$\theta_{obj} = \theta_{vis} \quad (2)$$

$$\theta_{eye} = -\theta_{body} \quad (3)$$

또한 대상물의 주시, 즉 식 (4)가 성립하기 위해서는 식 (5)를 만족해야 한다.

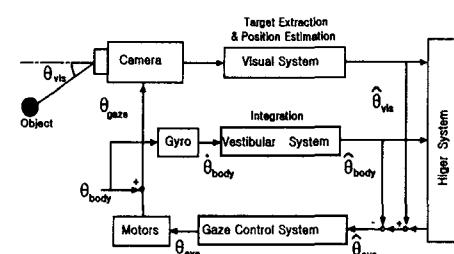


그림 2. 시각 이미지의 안정화와 대상물의 주시를 동시에 행하는 시스템

Fig. 2 System that makes a stabilization of visual image and a gaze of object at the same time.

$$\theta_{vis} = 0 \quad (4)$$

$$\theta_{eye} = -\theta_{body} + \theta_{obj} \quad (5)$$

그림 2는 실제로 위의 필요조건에 따라 시각 이미지의 안정화와 대상물의 주시를 동시에 행하는 시스템

을 표시한 것이다.

시스템 전체는 이동체에 탑재되어 있는 것으로 이동체의 회전각속도 θ_{body} 는 gyro에서 검출된다. 또한, 이동체의 운동과 시선제어의 모터에서 주어진 운동 θ_{eye} 의 합이 카메라의 시선방향 θ_{gaze} 가 된다. 화상에는 카메라에 대한 대상물의 방위 θ_{vis} 의 정보가 포함된다. 이 시스템에는 화상처리에 의한 대상물의 겜보기 위치 θ_{vis} , 평형각 센서에 의한 이동체의 방향 θ_{body} 를 각각 측정한다. 그리고, 바람직한 모터의 회전량 θ_{eye} 은 식 (1)을 이러한 측정량으로 치환하여 식 (6)과 같이 유도할 수 있다.

$$\theta_{eye} = \hat{\theta}_{vis} - \hat{\theta}_{body} \quad (6)$$

또한, 그림 2에 표시한 시스템에서는 계측도를 상위 시스템으로부터 직접 지시할 수 있다. 즉 우선 목표로 하는 대상물을 그림 속의 상위 시스템의 부분으로부터 지시하면, 뒤쪽은 시스템에 의한 주시작업이 자율적으로 실행되도록 하였다. 또한, 작업 도중에 목표를 변경하는 것도 동시에 지시하여 행한다.

N. 시각·평형각·주시제어의 융합실험 및 검토

전 장에서 정식화한 식 (1)은 위치 또는 변위 차원의 관계식이지만, 이 식의 양변을 시간으로 미분하면 속도의 차원으로도 같은 관계가 성립한다. 여기서, 속도정보를 근거로 하여 다음의 융합실험을 하고자 한다.

1. 시각·평형각의 융합 예비 실험

손으로 카메라를 진동시킨 후, 이것을 각속도 센서로 계측하여 카메라 헤드부분을 식 (3)에 근거하여 카메라 받침대와 반대방향에 같은 각속도로 회전하도록 제어하여 실험하였다. 이것을 제어하면서 화상정보를 필요로 하지 않는다. 배경에 고정된 지표의 겜보기 위치를 카메라로 기록하고, 동시에 카메라 헤드의 회전량을 기록하면서 수행한 실험 결과를 그림 3에 나타내었다.

이 그림에서 지표의 위치가 일정하게 유지한 만큼

시각 이미지가 안정화되고 있다는 것을 의미한다. 그림 3으로부터 카메라에 계속적인 진동을 하여도 큰 위치오차가 누적되지는 않는다는 것을 알 수 있다. 또한, 카메라로 활상된 화상은 진동회전의 회전방향이 반전하는 순간에 주로 호스트 컴퓨터 등의 시간지연에 기인한다고 생각되는 화상의 과도적인 shift를 발생시킨다. 이것을 해결하기 위해서는 호스트 컴퓨터로 제어하는 것보다 더욱 직접적인 각속도 센서와 구동 모터를 결합하여 제어하는 것이 바람직하다.

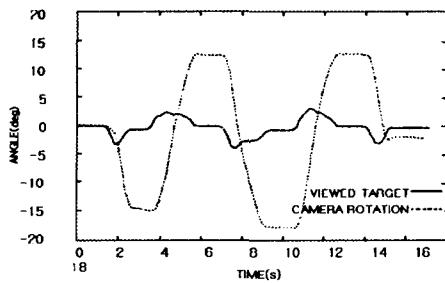


그림 3. 시각·평형각이 융합시킨 예비 실험 결과
Fig. 3 Result of reserve experiment that vision and sense of equilibrium are fused.

2. 시각에 의한 시선 제어 실험

시각정보로는 카메라로 얻어진 화상을 근거로 계산된 속도분포를 이용하여, 이것으로부터 얻어진 대상물의 속도에 시선속도를 일치시켜 실험하였다. 구체적으로 대상물의 표면 전체에 랜덤한 패턴을 부착한 넓은 판을 카메라 앞에서 좌우 교대로 이동시켜 계측된 대상물의 속도와 같은 각속도로 카메라 헤드를 회전시켜 대상물을 추종하였다. 이 때 평형각 정보를 필요로 하지는 않는다. 실험을 검증하기 위해서 대상물의 맨 아래에 지표를 정하여 카메라에서 보인 대상물의 변위와 카메라 헤드의 회전각을 기록한 결과를 그림 4에 표시 한다. 이 그림으로부터 대상의 속도에 추종하는 제어로는 대상물이 $\pm 2(\text{deg})$ 정도의 위치 편차가 남아있는 것을 알 수 있다. 이것은 대상 패턴의 속도가 크고 속도의 측정오차가 이에 비례하여 크게 되었으며, 이 오차가 누적에 의한 것이 아니라는 것을 추측할 수 있다.

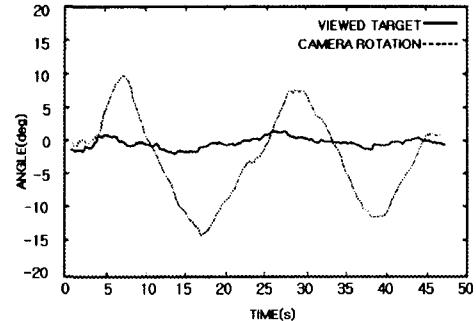


그림 4. 시각에 의한 시선제어 실험 결과
Fig. 4 Experiment result of gaze control by vision.

3 시각·평형각을 융합시킨 시선제어실험

마지막으로 위의 실험과 같이 대상물을 고정시키고, 진동회전한 카메라의 받침대의 움직임을 각속도 센서로 보상하면서 대상물의 겉보기 속도를 제로에 맞추어 제어하였다.

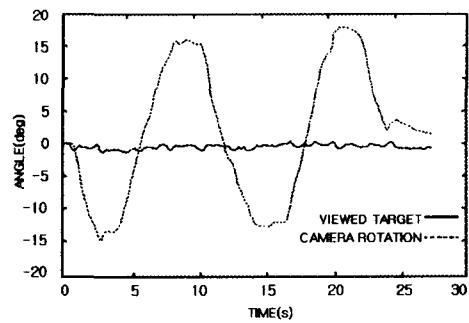


그림 4. 시각에 의한 시선제어 실험 결과
Fig. 4 Experiment result of gaze control by vision.

구체적으로 대상물의 겉보기 속도와 각속도의 최신 측정값의 차 $\hat{\theta}_{vis} - \hat{\theta}_{body}$ 를 카메라 헤드의 목표 속도로 하여 모터를 구동시켜 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

이 경우 단순하게 시선제어만을 한 것과 비교하여 위치편차가 적게 되는 경향이 있는 것은 카메라 받침대의 움직임이 각속도 센서에 의하여 보상된 결과, 겉

보기 속도가 적게 되어 속도의 추정오차도 적게 되는 효과가 있기 때문이다.

V. 결 론

외란을 받은 환경에서도 안정된 화상을 얻기 위해 서는 외란 또는 자신의 운동에 의해서 발생한 두부의 운동을 보상할 수 있는 눈의 운동이 필요하게 된다. 본 논문에서는 외란이 있는 환경에서 인간의 시선제어법 즉 시각과 평형각이 융합된 시선제어 알고리즘을 제안하고, 그에 대한 실험 결과 시선제어만을 한 것과 비교하여 위치편차가 적다는 것을 확인하였다. 이것은 카메라 받침대의 움직임이 각속도 센서에 의하여 보상되어 절보기 속도가 적게 되어 속도의 추정오차도 적게 되는 효과가 있기 때문이었다. 또한, 실험 결과는 다음과 같은 조건 하에서 얻어진 결과였다.

- ① 카메라 받침대에 주어진 진동은 주기 약 15(s), 진폭 약 $\pm 15(\text{deg})$ 로 어느 정도 완만하여 급격한 진동을 가한 경우의 실험을 않았지만, 일반적인 환경에 견딜 수 있을 정도였다.
- ② 카메라 자체 및 대상물, 양쪽 모두가 동시에 움직일 경우의 시선제어 실험은 하지 않았다.
- ③ 본 연구에서 실시된 실험은 단안에 의한 것으로 양안을 이용한 주시는 하지 않았다.
마지막으로 이것은 확장할 수 있을 것인가는 아직 알 수 없지만, II장에서 기술한 인간의 시기성 안구운동을 참고로 하면, 보다 완전한 시각 이미지의 안정화에 기여할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] B. Nelson and P. K. Khosla, "Integrating Sensor Placement and Visual Tracking Strategies", in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1351-1356, 1994
- [2] N. P. Papanikopoulos, P. K. Khosla, and T. Kanade, "Visual Tracking of a Moving Target by a Camera Mounter on a Robot" A Combination of Vision and Control. IEEE

Transactions on Robotics and Automation, vol. 9, no. 1, pp. 14-35, 1993

- [3] R. Sharma and S. Hutchinson, " Motion perceptibility of Robot Motion Under Active Camera Control", in Proc IEEE International Conference on Robotics and Auto., pp. 162-167, 1994
- [4] Nobuhiro OKADA and Tadashi NAGATA, "A Parts Picking System with a Range Finder and a Camera System," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 410-415, 1995
- [5] J. T. Feddema, C. S. George Lee, and O. R. Mitchell. "Weighted Selection of Image Features for Resolved Rate Visual Feedback Control", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 7, no. 1, pp.31-47, 1991
- [6] T. J. Olson and R. D. Potter, "Rear-Time Vergence Control," Dept. Computer Science, Univ. Rochester, Tech. Rep., 1989
- [7] 石川 : "センサフェージョンの課題," 日本ロボット學會誌, vol. 8, no. 6, pp.735-742, 1990
- [8] 山崎, 石川 編著 : "センサフェージョン-實世界の能動的理據と直接 재구성-", コロナ社, 1992
- [9] D. J. Coombs and C. M. Brown, "Real-Time Binocular Smooth Pursuit," International Journal of Computer Vision, vol. 11, no. 2, pp. 147-164, 1993

저 자 소 개



정남재(Nam-Chae Jung)

1984년 2월 : 조선대학교 전자공학과
(공학사)

1987년 2월 : 조선대학교 대학원 전

자공학과(공학석사)

1992년 8월 : 조선대학교 전자전공
(공학박사)

1996년 2월 ~ 현재 : 초당대학교 정보통신공학과 부교수

※관심분야 : Digital 신호처리, Robotics, 의용생체전자공학



문용선(Yong-Seon Moon)

1983년 2월 : 조선대학교 전자공학과
(공학사)

1985년 2월 : 조선대학교 대학원 전
자공학과(공학석사)

1989년 2월 : 조선대학교 대학원 전
자공학과(공학박사)

1992년 3월 ~ 현재: 순천대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : Vision-based control