

인간 시각의 생리학적 측면에서의 관찰을 통한 능동시각 시스템 개발

유연걸, 김도형, 안광호, 정영진
한국과학기술원, 전자전산학과

Development of an Active Head Eye System with Physiological Observations of the Human Visual System

Yeon Geol Ryu, Do Hyoung Kim, Kwang Ho An, Myung Jin Chung
Department of Electrical Engineering and Computer Science,
Korea Advanced Institute of Science and Technology

Abstract - 최근 인간과 유사한 휴머노이드에 대한 연구가 상당히 활발하고 그 영역이 계속해서 확대되고 있는 추세다. 휴머노이드에는 로봇의 몸체 뿐 아니라 머리 부분, 특히 시각 시스템이 매우 중요하다. 본 논문에서는 생리학적인 측면에서 인간의 눈과 목의 운동을 관찰하여 휴머노이드에 적용 가능한 능동 시각 시스템의 기구부 설계 방법을 제안하고 제어 방식을 설명한다. 기존의 팬-틸트 방식의 시각 시스템에 없는 인공 안구의 롤 회전 기능을 추가함으로써, 사람의 시각 시스템과 거의 유사한 동작 영역과 동작 속도를 보이게 된다. 소형 비전센서 모듈을 사용함으로써 시스템의 크기가 줄고 경량화 되었다. DC 모터를 액츄에이터로 사용함으로써, 위치와 속도 제어가 가능하고, 인간 안구의 단속적 운동을 모사 할 수 있다.

1. 서 론

휴머노이드와 같은 대부분의 지능 시스템에서 시각 시스템은 주변에 대한 많은 정보를 얻는데 필요하다. 고정된 시각 시스템은 센서로부터 얻은 영상을 분석할 때 irregularity, non-linearity, instability와 같은 많은 문제점을 가지고 있다. 그러나 시각 시스템의 위치를 변화 시킬 수 있다면, 다시 말해 능동시각 시스템을 사용한다면, 고정된 시각 시스템에서 영상을 분석할 때 발생하는 많은 복잡한 문제점을 해결 할 수 있다. 따라서 현재 능동 시각 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.

능동 시각 시스템의 주요 장점 중의 하나는 움직이는 물체를 쉽게 추적하는 능력이다. 고정된 시각 시스템의 시계 영역은 제한되어 있어서, 움직이는 물체를 추적하는데 많은 어려움이 있다. 예를 들어, 추적되는 물체는 고정된 시각 시스템의 시계 영역 안에 있어야만 한다. 그러나 능동시각 시스템은 시각 센서를 움직일 수 있기 때문에 고정된 시각 시스템에 비해 물체 추적에 필요한 훨씬 더 넓은 시계 영역을 가질 수 있다. 이러한 이유로 능동 시각 시스템은 휴먼-컴퓨터 인터페이스, 모니터링 시스템, 이동로봇, 휴머노이드 등과 같은 많은 응용 분야에서 사용되고 있다.

사람과 로봇 사이에 자연스러운 상호작용을 위해서 표정을 지닌 능동 시각 시스템이 있다. 예를 들면, MIT의 Kismet과 Leonardo, 와세다 대학교의 WE-4, 도쿄 대학교의 Saya, 카네기멜론 대학교의 Pearl 등이 있다. 위의 능동 시각 시스템은 생리학적 측면에서의 관찰을 통하지 않고 개발되었거나(Kismet) 능동 시각 보다는 표정 생성에만 치우쳐(Leonardo) 제작 되었다.

본 논문에서는 생리학적인 측면에서 인간의 눈과 목의 운동을 관찰하여 휴머노이드에 적용 가능한 능동 시각 시스템의 기구부 설계를 제안하고 제어 방식을 설명한다. 기존의 팬-틸트 방식의 시각 시스템에 없는 인공 안구의 롤 회전 기능을 추가함으로써, 사람의 시각 시스템과 거의 유사한 동작 영역과 동작 속도를 보이게 된다. 소형 카메라를 사용함으로써 시스템의 크기가 줄고 경량화 되었다. 또한 기존에 개발된 'Ulkn1'의 액츄에이터로 사용되었던 RC서보모터를 소형DC모터로 대체함으로써, 위치와 속도 제어가 가능할 뿐만 아니

라 소음을 줄일 수 있고, 인간 안구의 단속적 운동을 모사 할 수 있다.

2. 생리학적인 측면에서 바라본 인간의 눈과 목

2.1 인간의 눈

현존하는 시각 시스템 중에 인간의 시각 시스템이 가장 효율적이고 성능 면에서 우수함에 틀림없다. 그렇다면 우리가 능동 시각 시스템을 개발하기 위해서 인간의 눈을 생리학적인 관점에서 관찰하고 이를 모방하는 것은 당연하다.

눈의 움직임에 대한 연구에서 Yarbus(1967)는 복잡한 화면을 인식하기 위해서 눈동자가 상당히 오랫동안 머물러 있는 경우의 fixation과 눈이 화면의 새로운 부분으로 초점을 맞추기 위해 움직이는 saccade의 두 가지 움직임들이 세밀하게 서로 연관되어 하나의 움직임 패턴을 나타낸다는 것을 밝혔다. 일반적으로 우리는 이러한 움직임들을 각각에 대해서는 감지하지 못하지만, 화면을 바라보거나 관찰 할 때 이러한 눈 응시 패턴의 생성에 의해 인식이라는 종합적인 부분으로써 느껴진다.

관심 있는 부분에 대해 선택하는 작용이 두 가지의 기능들로 구성되어 있고 이 기능들은 서로 독립되고 계층적인 단계들로 되어 있다는 것에 의견을 일치하고 있다. 우선은 용량에 제한이 없이 눈에 받아들여지는 전체 시각 영역에 대해 병렬적으로 동작하는 pre-attentive 단계와 그 다음으로 따라오는 한 순간에 오직 하나의 아이템만을 다루는 attentive 단계로 구분하고 있다. Attentive 단계는 관심 있는 부분만을 바라보게 되기 때문에 그 용량에 제한이 있는 단계이다.

눈의 움직임은 convergence, rolling, saccade, pursuit motion, nystagmus, drift and micro-saccades, physiological nystagmus 7 가지 형태로 나타낼 수 있다. 이중에 Rolling은 fovea와 동공을 통과하는 시선 축을 중심으로 회전하는 움직임을 나타낸다. 이것은 사람의 의지에 상관없이 목의 각도와 같은 다른 기관들 사이에서 영향 받아서 움직이게 된다. Nystagmus는 머리의 회전이나 시각 영역 안에서 움직이고 반복적인 패턴의 관측에 대한 응답으로써 발생하는 눈의 움직임의 한 패턴이다. 여기에서 머리의 회전은 귀 안의 기관에서 검출되는 가속 정보를 가지고 보상해주게 된다.

팬-틸트 방식을 사용하는 기존의 능동 시각 시스템으로는 위에서 조사한 생리학적인 측면에서 살펴 본 인간 시각 시스템의 운동 형태 구현이 불가능하다는 사실을 알 수 있다. 특히, 기존의 팬-틸트 방식 능동시각 시스템은 롤 회전축이 부재하기 때문에 rolling과 nystagmus 운동을 모사하는 것은 불가능 하다.

따라서, 우리는 위에서 언급한 인간 시각 시스템이 가지는 운동 특성 모사하기 위해서 기존의 팬-틸트 방식의 능동시각 시스템을 롤 회전 기능이 추가된 능동시각 시스템을 제안한다. 두 안구의 움직임은 총 6 자유도로 표현 될 수 있다. 그리고 인간 안구의 운동 범위와 동작 속도는 표1과 같다.

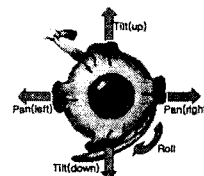


<그림 1> Ulkn1



<그림 2> Proposed System

(그림 1의 Ulkn1은 RC서보를 액츄에이터로 사용한 반면 그림 2의 제안된 능동시각시스템은 DC 모터를 액츄에이터로 사용한다.)



<그림 3> 인간의 눈 운동

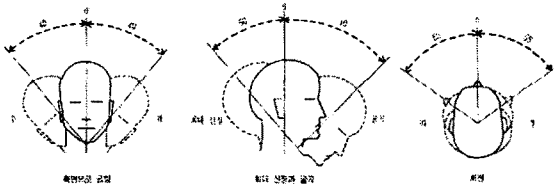
(그림 3에서 pan 기능은 안구의 양 옆에 붙어있는 근육이 담당, tilt 기능은 안구의 위-아래에 붙어 있는 근육이 담당, roll 기능은 옆에서 대각선 방향으로 붙어 있는 근육이 담당.)

<표 1> 인간의 눈과 목의 동작 범위와 속도

구분	동작 범위	동작 속도
눈동자(좌,우)	-50~50 deg	약 600 deg/s
눈동자(상,하)	-40~30 deg	
눈동자(회전)	-15~15 deg	
머리(좌,우)	-55~55 deg	100~200 deg/s
머리(상,하)	-50~40 deg	
머리(측면)	-40~40 deg	

2.2 인간의 목

인간의 경우 목에는 여러 목뼈 사이에서 일어나는 움직임이 모여져 전체적으로 상당한 영역의 움직임을 나타내는데, 이러한 여러 곳의 움직임이 전체적으로 잘 조화를 이루어, 머리는 그림 4와 같이 숙이거나 뒤로 젖히는 운동, 옆으로 굽히는 운동, 돌림운동까지 이루어지므로 목의 움직임은 표 1과 같이 비교적 넓은 운동 범위를 가지게 된다. 따라서 목의 움직임은 총 3자유도로 모델링 될 수 있다.

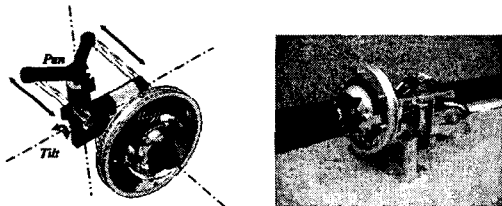


<그림 4> 인간의 목 운동

3. 능동 시각 시스템

3.1 능동 시각 시스템의 눈

기존의 팬-틸트 방식의 시각 시스템에 없는 인공 안구의 롤 회전 기능을 추가함으로써, 그림 4와 같이 6 자유도를 가지는 사람의 눈과 같은 거의 유사한 동작 영역과 동작 속도를 보이게 된다. 특히, 기존의 팬-틸트 방식 능동시각 시스템은 롤 회전축이 부재하기 때문에 눈의 rolling과 nystagmus 운동을 모사하는 것은 불가능 하였는데, 본 논문에서 제안하는 능동시각 시스템은 앞에서 말한 눈의 운동을 구현 할 수 있다. 그리고 3개의 축이 한 점에서 만나는 유니버설 조인트 특성을 가지는 인공 안구 구조를 제안함으로써, 기존의 시스템(Ulkn)에 비해서 표 2와 같이 넓은 동작 영역을 확보 할 수 있다.



<그림 5> 능동 시각 시스템의 눈

(그림 5는 3개의 액츄에이터 축의 교점을 한 점에 일치시켜 한쪽 눈에 3자유도(롤 회전 포함)를 가지는 능동시각 시스템의 눈 부분에 해당하는 카드 모형(왼쪽)과 실제 기구부(오른쪽)를 나타냄.)

<표 2> 능동시각 시스템의 눈과 목의 동작 범위와 속도

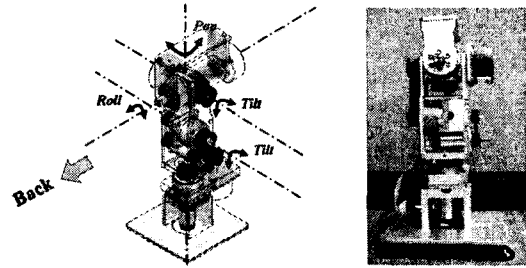
구분	동작 범위	동작 속도
눈동자(좌,우)	-40~40 deg	700 deg/s
눈동자(상,하)	-40~40 deg	
눈동자(회전)	-30~30 deg	
머리(좌,우)	-180~180 deg	500 deg/s
머리(상,하)	-50~40 deg	
머리(측면)	-40~40 deg	

3.2 능동 시각 시스템의 목

앞의 2.2절에서 3 자유도로 모델링이 가능한 인간의 목 관절 구조를 참고하여 3 자유도 목을 가지는 능동시각 시스템을 개발 하였다. 그림 6과 같이 DC모터, 하모닉 드라이버, 풀리-벨트 구조를 가지는 능동시각시스템의 목 제작을 통해서 광범위한 인간의 목 운동과 운동 속도를 모사할 수 있었다.

3.3 능동 시각 시스템의 제어부

두 개의 CCD 비전 센서 모듈에서 생성된 이미지 데이터는 USB 2.0 통

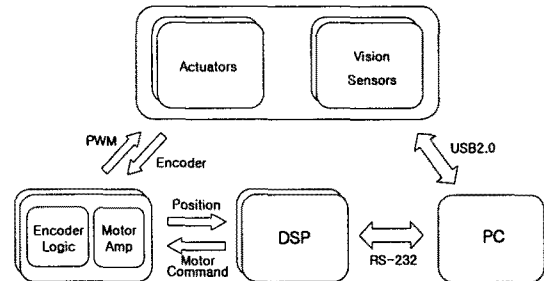


<그림 6> 능동 시각 시스템의 목

(그림 6는 3개의 액츄에이터 축의 교점을 한 점에 일치시켜 3자유도를 가지는 능동시각 시스템의 목 부분에 해당하는 카드 모형(왼쪽)과 실제 기구부(오른쪽)를 나타냄.)

신 규약으로 범용 PC로 전송 되고, 처리 된다. 그리고 앞에서 사용된 PC는 RS-232 통신 규약으로 모터 제어용 DSP 보드에 모터제어 신호를 보내고 이 신호는 모터 앰프에 의해서 증폭되어 액츄에이터를 구동하게 된다. 반대로 엔코더 신호는 엔코더 로직 회로를 거쳐 DSP 보드로 보내지고 RS-232 통신 규약으로 PC에 전송된다. 결국, PC에서는 비전 센서 모듈에서 전송된 이미지를 처리하고 엔코더에서 얻은 능동시각 시스템의 위치 정보 바탕으로 적절한 액츄에이터 제어 신호를 발생 시킨다.

소형 카메라를 사용함으로써 시스템의 크기가 줄고 경량화 되었다. 또한 기존에 우리 연구실에서 개발한 'Ulkn'의 액츄에이터로 사용되었던 RC서보모터를 소형DC모터로 대체함으로써, 위치와 속도 제어가 가능할 뿐만 아니라 소음을 줄일 수 있고, 인간 안구의 단속적 운동을 모사 할 수 있다.



<그림 7> 능동시각 시스템 구성도

4. 결 론

우리는 생리학적인 측면에서 인간의 눈과 목의 운동을 관찰을 통하여 휴머노이드에 적용 가능한 양 눈에 6 자유도 목에 3 자유도를 가지는 인간 시각 시스템과 유사한 동작을 보이는 능동시각 시스템 개발하였다. 기존의 팬-틸트 방식은 롤 회전 기능이 없기 때문에 인간의 시각 시스템의 운동(rolling, nystagmus)을 모사 할 수 없었다. 하지만, 본 논문에서 제시하는 능동시각 시스템은 위에서 말한 사람은 눈 운동을 모사 할 수 있다. 또한 모터 제어용 고성능 디지털 시그널 프로세서 보드와 모터 드라이브 회로를 개발하고, 시스템의 크기를 줄이고 경량화를 위해 소형 비전센서 모듈을 적용하였다.

앞으로 우리는 인간과 로봇이 더 자연스러운 상호작용을 할 수 있도록 능동시각 시스템에 표정 요소를 추가하고, 얼굴 인식, 얼굴 표정 인식, 얼굴 추적 알고리즘을 적용 할 것이다.

[감사의 글]

본 연구는 KAIST 뇌과학 연구센터(BSRC)의 전액 지원으로 수행 되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] D.H. Kim, D.Y. Kim, M.J. Chung, "An Active Vision System with Facial Expressions", Proceedings of 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, pp. 1553-1558, 2004.
- [2] D.H. Kim, D.Y. Kim, H.S. Hong, M.J. Chung, "An Image-Based Control Scheme for an Active Stereo Vision System", Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 3375-3380, 2004.
- [3] C.Breazeal, "Designing Sociable Robots", MIT Press, 2002.
- [4] 서울대학교 의과대학 교수진 저, "Human Anatomy(머리와 목)", Seoul, Republic of Korea, 1999.
- [5] Y.M. Lim, "Design Ergonomics", Mijin Co., 2000.