

스테레오 헤드아이 로봇의 버전스 눈운동을 위한 새로운 제어 모델

김희정, 유명현, 이성환
고려대학교 인공지능연구센터

A New Control Model for Vergence Movement on a Stereo Head-Eye Robot

Hee-Jeong Kim, Myung-Hyun Yoo, Seong-Whan Lee
Center for Artificial Vision Research, Korea University

요약

버전스 눈동자 운동은 사람과 스테레오 시각을 가진 척추동물로 하여금 양안에 의해 응시점이 맞추어진 관심있는 물체까지의 떨어진 거리를 인식할 수 있도록 해준다. 이러한 버전스 눈동자 운동을 양안 헤드아이 로봇에 구현하기 위해서, 우리는 disparity flow와 flux를 이용하는 제어 모델을 개발하였다. 실험 및 결과 분석은 본 모델이 다양한 환경에서의 버전스 눈동자 운동을 효율적으로 제어할 수 있음을 보여준다. 인식-행동 주기가 실시간 프레임율에 근접하게 되면, disparity flow와 flux의 정확도는 증가되고 헤드아이 로봇의 버전스 눈운동을 더욱 정밀하게 제어하는 것이 가능해질 것이다.

1. 서론

사람과 스테레오 시각을 가진 척추동물은 급속 안구운동, 자연스런 추적운동, 눈동자 떨림 그리고 버전스 눈운동으로 구분되는 눈운동을 할 수 있다. 눈운동이 존재하는 중요한 생태학적 이유는 고해상도 fovea 영역을 시각 영상에서 가장 관심을 끄는, 중요한 그리고 많은 정보를 포함하고 있는 부분에 위치시키려는, 즉 대상 물체에 안정하게 초점을 맞추려는 필요성 때문이다. 네 가지 기본적인 눈운동 중에서도 버전스 눈운동은 입체 정보를 이용하여 거리를 인식하는데 직접적으로 관련 되어 있다.

비전 비전 연구에서 있어서 버전스 눈운동은 제한된 인식-행동 주기 동안에 실세계의 같은 특징점이 스테레오 카메라의 양쪽 영상의 중심에 맞히도록 스테레오 헤드아이 시스템의 왼쪽 그리고 오른쪽 카메라축을 대칭적으로 구동시키는 것을 말한다. 버전스 눈운동의 양안 기하학을 그림 1에 표현하였다. 왼쪽 그리고 오른쪽 광학 중심점과 대상 물체 상의 응시점은 기하학적인 horopter에 내접되어 있는 삼각형의 꼭지점을 이루고 있다. 그림에서 horopter에서 교차점 즉, 응시점을 이루는 왼쪽 그리고 오른쪽 광학축 사이의 각을 버전스 각 θ_{verge} 이라고 한다. 이 버전스 각을 포함하여 버전스 눈운동을 제어하기 위한 카메라축의 제어 인자들은 스테레오 영상에서의 정합 과정을 통해 추정된 disparities로부터 얻어진다. 버전스 눈운동을 위한 disparities를 추정하기 위해서 많은 비전 연구자들은 상관관계 방법, 위상분석 방법 등과 같은 disparity 추정방법론들을 고안하였다 [1, 2]. 본 연구에서는 스테레오 영상에서 disparities를 추정해 내기 위하여 위상분석 방법을 채택하였다. 이를 통해 얻어진 disparity 맵에 disparity flow와 flux를 적용시켜서 스테레오 헤드아이 시스템의 버전스 눈운동을 제어하는 모델을 개발하였다.

2. 제안된 버전스 눈운동 제어 모델

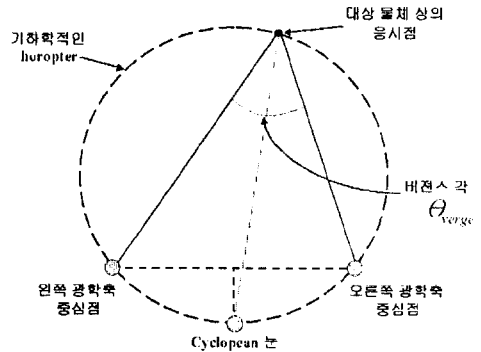


그림 1. 버전스 눈운동의 양안 기하학

2.1 Disparity 추정

disparity 추정을 위한 위상 기반 알고리즘은 Gabor 필터 등의 complex 필터와 왼쪽 그리고 오른쪽 영상과의 컨벌루션 인산을 통하여 주파수 영역에서 관찰되는 지역적인 위상차이를 영상의 공간상의 차이로써 지역적인 disparity를 계산해내는 것으로 간략하게 설명될 수 있다. 이것을 그림 2에 나타내었다. 스웨덴의 KTH-CVAP, 독일의 Kiel 대학 등에서 disparity를 추정하고 disparity 맵을 얻어내기 위해 위상 기반 방법론을 사용하였다. 위상 기반 방법의 기본 원리는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$V_l(x, y) \cong e^{j\omega D(x, y)} \cdot V_r(x, y) \quad (1)$$

$$D(x, y) \cong (\arg V_l - \arg V_r) / \omega \quad (2)$$

$V_l(x, y)$ and $V_r(x, y)$ 는 각각 Gabor 필터와 컨벌루션된 왼쪽 그리고 오른쪽 영상을 나타낸다. $D(x, y)$ 는 공간 이

미지상의 한 점 (x, y) 에서의 disparity 값을 의미한다. 그리고 ω 는 필터의 중심주파수(radian/pixel)를 나타낸다. 또한 본 연구에서는 위상분석 방법의 성능은 높이기 위하여 coarse-to-fine 전략을 채택하였다 [1, 2].

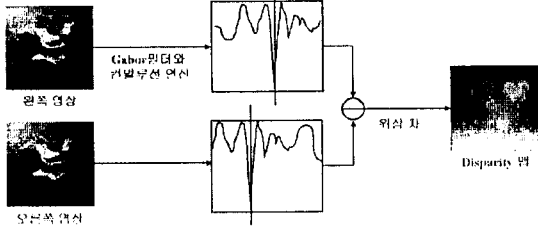


그림 2. 위상 기반 방법의 기본 원리

2.2 Disparity flow

위상 기반 disparity 추정으로부터 얻어진 disparity 맵을 사용하기 위해서, 본 연구에서는 disparity flow 개념을 제안하였다. disparity flow란 인식-행동 주기 Δt 동안에 주어진 공간상의 위치 (x, y) 에서의 disparity 값의 부호를 포함한 변화량으로 정의된다. 이러한 간단한 개념을 그림 3에 표현하였다. disparity flow는 아래와 같이 수식으로 또한 나타낼 수 있다.

$$F_D = \frac{dD(x, y)}{dt} = D_{t-\Delta t}(x, y) - D_t(x, y) \quad (3)$$

인식-행동 주기가 더 짧아질수록, disparity flow의 정확도는 더 높아진다. 말하자면, 인식-행동 주기가 실시간 프레임율에 접근해 갈수록 disparity 값의 작은 변화도 버전스 눈운동을 더 정확하게 제어하는데 영향을 끼치게 된다.

순차적인 Disparity 맵

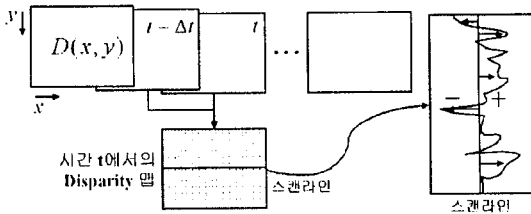


그림 3. Disparity flow의 개념

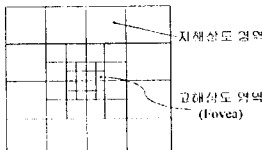


그림 4. 다-단계 주의 창 예; 그림에선 3단계의 주의 창이 나타나있다.

2.3 Disparity flux

Disparity flow 맵을 얻어내면, 그것을 버전스 제어에 사용하기 위해 disparity flux를 계산한다. disparity flux는 인식-행동 주기 Δt 동안에 주의 창 W_A 를 통과하는 disparity flow

값들의 총합으로 정의된다. 이러한 개념은 수학적으로 다음과 같이 표현된다.

$$\Phi_{FD} = \int_{W_A} F_D dW_A \cong \sum_{j,k=0}^n F_D(j, k) \quad (4)$$

n 은 주의 창 W_A [3]에서 (j, k) 로 표현되는 사각형 영역의 총 개수란 의미한다. 주의 창은 그림 4에 나타나있는 것처럼 주의 창 중심을 중심으로 각수축 로그 스케일로 분할되는 사각형 영역들로 구성되어 있다. 주어진 시간에 disparity flux를 계산하기 위해, disparity flow 맵의 중심지점에 주의 창의 중심지점을 맞추어서 주의 창의 모든 사각형 영역에서 disparity flow 값을 뽑아낸다. 그리고 이런식으로 뽑아진 모든 disparity flow 값들을 합하면 disparity flux가 얻어진다. 이것을 그림 5에 나타내었다.

특정 시간에 주의 창을 통하여 얻어진 disparity flux는 주의 창을 흘러나가거나 흘러들어오는 혹은 변화가 없는 경우의 값으로 쉽게 구분될 수 있다. 즉, 특정 시간에 주의 창을 통과하는 disparity flow 값들의 총합은 +나 -, 혹은 0으로 나타나는 방향성을 갖고 있다. 이러한 방향성은 특정 시간에 헤드아이 시스템의 버전스 축을 제어하는데 활용될 수 있다.

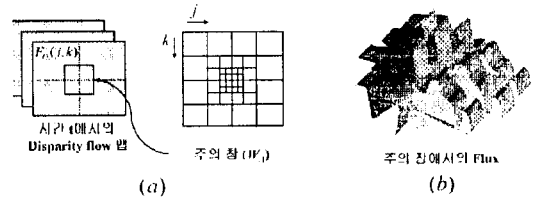


그림 5. Disparity flux의 개념

2.4 버전스-조정 맵핑 과정

영상의 응시점에서 거리를 변화시키는 움직임이 일어났을 때, 주의 창 안에 disparity flow들이 발생된다. 어떤 주어진 시간에 flux 값이 0에 가까울 정도로 그 절대값이 작은 값을 가지게 될 때 버전스는 안정한 상태이다. 즉, 주의 창에서 disparity flow들이 발견되자마자, disparity flux는 0이 아닌 불안정한 값을 가진다. 그리고 헤드아이 시스템의 왼쪽 그리고 오른쪽 버전스 축이 flux가 0에 가까운 안정한 값을 가질 때까지 버전스 각도-조정을 위한 맵핑 과정을 통해 안구의 수렴과 확산 운동처럼 동시에 제어된다. 맵핑 과정은 flux 값을 7단계로 구분짓는 과정과 그 구분된 flux 값을 적절한 버전스 각도* 로 연결시켜주는 과정으로 이루어져 있다. 제안된 버전스 눈운동 제어 모델의 전반적인 흐름을 그림 6에 나타내었다.

3. 실험 및 결과 분석

제안된 버전스 눈운동 제어 모델의 성능을 시험해보기 위해서, 실험 환경 설정을 그림 7과 같이 하여서 실제적인 환경에서 버전스 자극을 만들 수 있도록 하였다 [4]. 설정된 실험 환경은 양안 헤드아이 로봇의 눈간거리(b)의 중앙점에서 수직을 이루는 연장선 상에 같은 높이로 놓여진 구형 물체로 이루어져 있다. 세 가지의 다양한 상황에서 disparity flux를 이용한 버전스 제어 모델의 성능을 실험하였다. 그

*비전스 각도-조정을 위해서 {-2, -1, -0.5, 0, 0.5, 1, 2}의 간은 테이블을 사용한다.

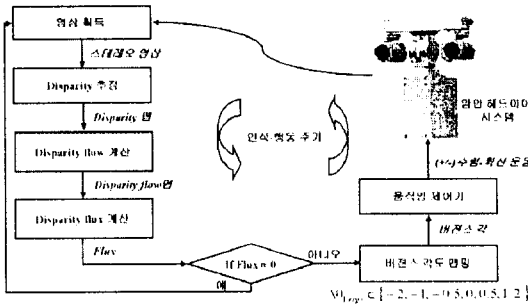


그림 6. 제안된 비전스 눈운동 제어 모델의 전반적인 흐름

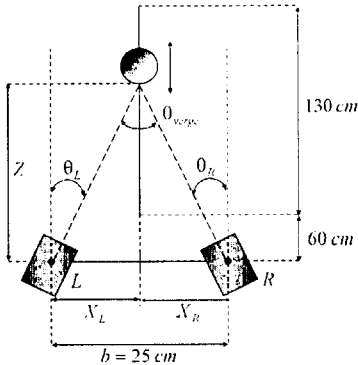


그림 7. 실험 환경 설정: 눈간거리(b)의 중앙점에서 수직을 이루는 연장선을 따라 등속으로 이동하는 구형물체에 두 카메라가 응시점을 맞춘다. 연장선은 눈간거리로부터 60 cm 떨어진 곳에서부터 시작하여 130 cm만큼 떨어진 거리 까지 뻗어있다.

결과를 그림 8에 그래프로 나타내었다. 각 경우에 있어서 반응 시간의 차이가 다소 있지만, flux 값이 0에 가까워지려는, 즉 안정한 비전스 상태를 유지하려는 방향으로 비전스 눈운동이 제어됨을 볼 수 있다.

4. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 disparity flow와 flux를 이용한 비전스 눈운동 제어 모델을 제안하였다. 다양한 환경에서의 실험 결과는 인식-행동 주기가 실시간 프레임에 더욱 가까워질수록 제안된 비전스 제어 모델이 헤드아이 시스템의 비전스 눈운동을 더욱 정확하게 제어하는데 효율적임을 보여주었다. 앞으로 이 비전스 제어 모델은 자연스런 추적 눈운동을 포함하는 양안 추적 눈운동(binocular smooth pursuit) 제어 모델로 확장되어 연구될 것이다.

감사의 말씀

본 연구는 과학기술부 창의적연구진흥사업의 연구비 지원으로 받았음.

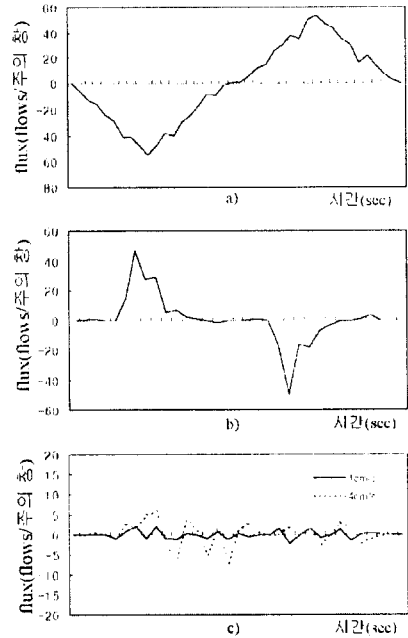


그림 8. 실험 결과 그래프:

- a) 고정된 비전스 각도 실험 b) 급속 비전스 눈운동 실험
- c) 자연스런 비전스 추적운동 실험

참고 문헌

- [1] A. Maki, T. Uhlin and J. O. Eklundh, "Disparity selection in binocular pursuit," Proc. of IAPR Workshop on Machine Vision Applications, Kawasaki, Japan, pp. 182-185, 1994.
- [2] M. Hansen and G. Sommer, "Real-Time Vergence Control using Local Phase Differences," Machine Graphics and Vision, Vol. 5, pp. 51-63, 1996.
- [3] J. H. Piater, R. A. Grupen and K. Ramamritham, "Learning Real-Time Stereo Vergence Control," Proc. of the 1999 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Cambridge, MA, 1999.
- [4] C. Capurro, F. Panerai and G. Sandini, "Dynamic Vergence Using Log-Polar Images," International Journal of Computer Vision, Vol. 24, pp. 79-94, 1997.