

## 스테레오 비전을 이용한 휴머노이드 로봇의 자기 움직임 보정

강태구, 박귀태  
고려대학교 전자전기공학부

### Egomotion Compensation of a Humanoid Robot by Using Stereo Vision

Tae-Koo Kang and Gwi-Tae Park  
School of Electrical Engineering, Korea University

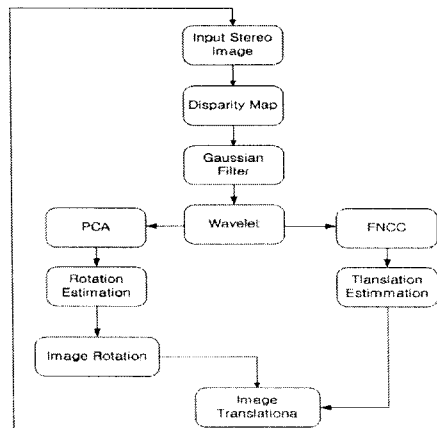
**Abstract** - 지능형 로봇에서 환경인식과 이러한 환경에 따른 행동 결정 능력은 로봇이 필수적으로 갖추어야 할 기능이다. 특히 상체의 움직임이 많은 휴머노이드 로봇에서 비전기반의 높은 환경에 대한 인식 기능을 위해서는 전처리 단계로 로봇 자체의 움직임을 상쇄 시켜주는 기능이 필수적이다. 본 논문에서는 Gaussian 모델과 Wavelet을 사용하여 추적하고자 하는 영역을 추출하고 PCA와 FNCC를 이용하여 움직임을 상쇄시키는 방법을 제안한다. 본 방법은 기존의 픽셀 단위로 움직임을 분석하는 방법에 비하여 간단하면서도 우수한 성능을 보인다. 본 시스템을 제작한 로봇에 적용한 결과 보다 높은 인식 성능을 얻을 수 있었다.

#### 1. 서론

요즘 로봇에 대한 관심이 증가되고 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 이러한 로봇에 필수적으로 필요한 기능이 지능화이며, 이러한 지능화 로봇의 눈이자 머리 역할을 하는 것이 비전이라 할 수 있다. 특히 비전을 이용한 환경 인식 분야가 활발히 진행되고 있다. 그러나 이족로봇은 바로 이 동하는 이족로봇과는 달리 보행 시 몸체의 흔들림이 이족로봇의 방법을 그대로 적용하는데 문제점이 많다. 따라서 이러한 움직임에도 보다 정확하게 상황을 인식하기 위해서는 그 움직임에 대한 보상을 해주어 로봇 자체의 흔들림의 영향을 줄이는 기능이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 휴머노이드 로봇에서의 자기 움직임을 보정하는 방법에 대하여 제안한다.

스테레오 비전을 이용한 로봇의 움직임은 depth정보를 3D에서 2D투영들로 투영(Projection)하는 2D multi-scale tracker를 사용한 3D rigid transform으로 추정할 수 있으며, 이러한 방법들은 ICP(Iterative Closest Point) 방법[1]과 SIFT[5] 등에 유사한 형태로 사용되었다[2]. 또한 gradient-based error function을 사용하여 3D normal flow constraint[3]를 최소화 하여 움직임을 추정하는 방법이 있다. 이 방법은 계산상의 간단함으로 인하여, 널리 사용되고 있다. 그러나 위의 방법들은 대부분 pixel 단위로 연산을 하여 error추정 과정을 거쳐 최종적으로 추정하는 방법을 사용하고 있어 연산량 뿐만 아니라 연산 시간에 문제가 있어 실제로 휴머노이드 로봇에 사용하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 point to point를 비교하는 방법이 아닌 영상 전체의 정보를 이용하여 영상의 자체 움직임을 보정하는 방법하는 제안하고자 한다. 제안하는 방법은 Gaussian 모델과 스테레오 카메라로 얻어진 disparity map을 이용하여 원하는 range의 영상을 추출하고, wavelet을 이용하여 영상의 차원을 줄인다. 이렇게 얻어진 특징 영상은 PCA(Principal Component Analysis)방법[4]과 FNCC(Fast Normal Cross Correlation)을 이용하여 영상의 회전각과 움직임 변화량을 계산하여 자체의 움직임에 대한 보정을 수행하게 된다.

본 논문은 2장에서는 Gaussian Model을 이용하여 ROI(Region Of Interest) 영역을 추출하는 방법을 소개한다. 3장에서는 PCA와 FNCC를 이용하여 자체 움직임에 대한 보정과정을 소개한다. 4장에서는 제안된 방법에 대한 실험을, 마지막으로 5장은 결론으로 구성되었다.



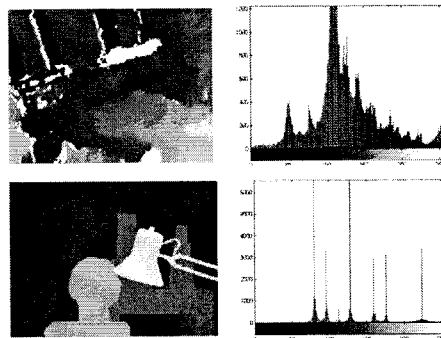
<그림 1> 움직임 보정 흐름도

#### 2. Gaussian filtering을 이용한 특징 영상 추출

2장에서는 스테레오 카메라를 이용하여 ROI를 추출하는 방법과 추출된 ROI를 이용하여 로봇의 자체 움직임에 대한 보정방법에 대하여 논하고자 한다. 그림 1은 전체 알고리즘의 흐름도는 그림 1에서 보는 바와 같다.

##### 2.1 스테레오 카메라를 이용한 ROI추출

스테레오 카메라로부터 입력된 영상으로부터 ROI를 추출하기 위하여 먼저 입력된 좌우 영상들을 이용하여 gray level의 disparity map을 추출한다. 그림 2는 추출된 disparity map과 이에 대응되는 픽셀 값의 분포를 히스토그램으로 보여준다.



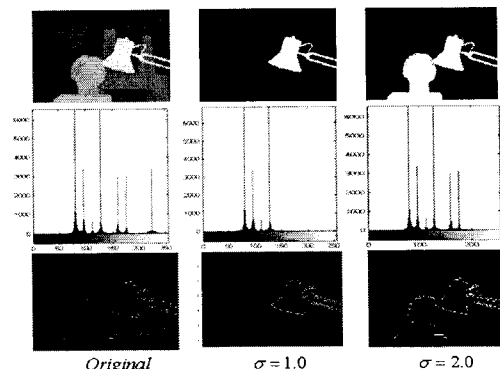
<그림 2> Disparity map과 이에 따른 Histogram 분포

오른쪽 히스토그램의 x축은 픽셀의 밝기를 y축은 픽셀의 수를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 disparity map은 거리에 따른 픽셀값들이 gaussian 형태로 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 히스토그램에 gaussian 형태의 filter를 이용하여 원하는 range를 다음과 같이 구할 수 있다. 우선, 출력영상  $F(x,y)$ 는 입력영상  $I(x,y)$ 에 대하여 픽셀값에 대한 gaussian 형태의 mask를 이용하여 filtering 과정을 거친다.

$$F(x,y) = I(x,y) \times G(x,y),$$

$$\text{where } G(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(\mu - I(x,y))^2}{2\sigma^2}}$$

여기서  $G(x,y)$ 는 입력영상의 모든 픽셀값에 대한 평균  $\mu$ 와  $\sigma$ 를 가진 gaussian filter이다. 이러한 필터 과정을 거쳐 전체 영상에 대한  $\mu$ 를 기준으로  $\sigma$ 만큼의 범위 안에서의 영역을 추출하게 된다.



<그림 3> ROI영역 추출과 이에 따른 wavelet 결과

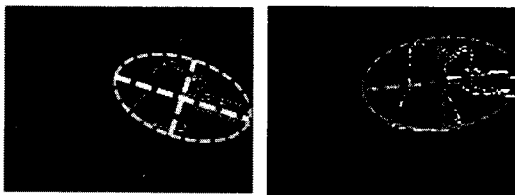
## 2.2 Wavelet을 사용한 특징데이터 축소

추출된 ROI영역을 그대로 사용하기에는 데이터의 수가 많아 실시간 연산이 어렵다. 따라서 이러한 데이터의 수를 줄이는 방법을 필요하다. 본 논문에서는 wavelet을 사용하여 그 중, 비교적 회전각을 분석하기 좋은 수평 성분을 특징으로 사용하였다. 그림 3은  $\sigma$  변화에 따른 ROI영역의 추출과 wavelet의 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이  $\sigma$ 의 변화에 따라 추출되는 영역이 달라진다. 본 논문에서는  $\sigma=1.0$ 을 사용하여 PCA의 입력으로 사용하였다.

## 3. PCA와 FNCC를 이용한 움직임 보정

### 3.1 PCA를 이용한 회전 보정

PCA는 데이터를 하나의 축으로 투영시켰을 때, 그 분산이 가장 커지는 축을 찾는 것이다. 또한 PC와 PC간에는 항상 orthogonal한 특성을 가지고 있다. Wavelet을 통하여 얻어진 영상은 PCA를 이용하여 영상 분포를 분석하여 주성분이 되는 축을 찾아 추적함으로써 회전각의 변화를 알아 낼 수 있다. 이 방법은 기존의 point-to-point 방법보다 연산횟수를 줄일 수 있어 전체적인 연산량이나 연산속도가 빠른 장점이 있다. 또한, point단위의 노이즈에도 강인한 성능을 보여준다.



〈그림 4〉 PCA를 이용한 회전각 측정

그림 4는 PCA를 이용하여 두 프레임 사이에 주성분 축을 보여주고 있다. 그림에서 장축이 데이터들의 분산이 가장 큰, 즉 데이터의 분포를 가장 잘 표현할 수 있는 축이다.

### 3.2 FNCC를 이용한 변위 보정

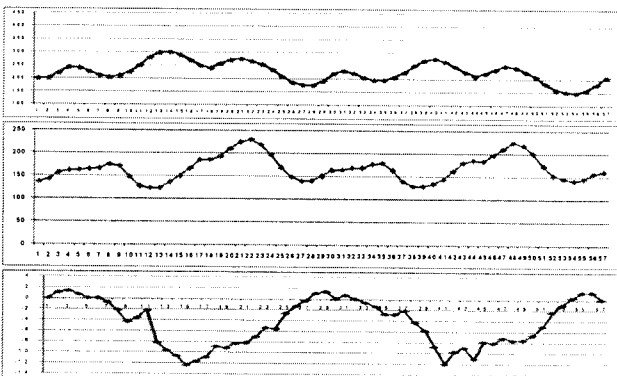
CC(Cross-Correlation)은 타겟이 되는 영상과 등록된 패턴의 유사도를 측정하여 유사도가 가장 높은 것을 찾는 알고리즘이다. 또한 FNCC(Fast Normalized Cross-Correlation)은 CC에 normalizing한 correlation coefficient를 이용하여 구할 수 있다. 이러한 FNCC는 조명 변화에 따른 영향이 적고 normalized 되었기 때문에 스케일이나 회전등의 변화에 강인한 강점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 FNCC를 이용하여 프레임 간의 변위를 측정하였다. 변위에 대한 보정은 우선 위에서 측정된 회전각에 대하여 보정이 이루어진 뒤에 수행된다. 또한 입력된 픽셀 데이터 수가 wavelet을 거쳐 줄었기 때문에 연산량의 문제나 연산 시간 등의 문제도 해결 할 수 있다.

## 4. 실험

제안된 알고리즘의 성능을 알아보기 위하여 2가지 실험을 하였다. 첫 번째는 실제로 로봇을 이용하여 자기 움직임이 보상 값을 측정하였다. 두 번째 실험에서는 실제로 어느 정도 보상이 이루어지는지를 실험하였다.

### 4.1 자기 움직임 보상값 실험

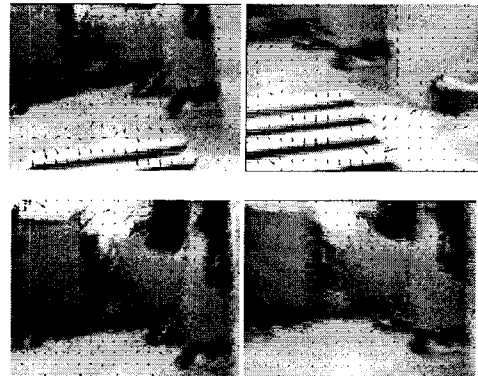
본 실험은 로봇의 자기 움직임에 대한 제안한 알고리즘의 보상값을 실험하였다. 소형 휴머노이드 로봇에 스테레오 카메라(bumblebee)를 이용하여 x축으로의 변위, y축으로의 변위, 그리고 회전각을 각각 측정하였다. 프레임에 따라 측정된 결과는 그림 5와 같다. 첫 번째 그림은 x축으로의 변위를 나타내고, 두 번째 그림은 y축으로의 변위를 나타내고, 세 번째 그림은 회전각에 대한 변위를 나타낸 것이다.



〈그림 5〉 제안된 방법을 이용한 자기 움직임 보상값

### 4.2 자기 움직임 보상 실험

본 실험은 앞의 실험에서 얻어진 보상값을 이용하여 실제로 로봇에 적용하여 실험하였다. 보상이 어느 정도 이루어졌는지를 광류(Optical flow)를 이용하여 확인하였다. 그림 6은 실험 결과를 보여주고 있다.



〈그림 6〉 자기 움직임 보상 결과

위의 그림에서 상위 두 개의 그림은 보상 되지 않은 입력영상이고, 하위 두 개의 그림은 입력영상에 대하여 보상이 이루어진 후의 영상이다. 보상 전 영상은 흔들림이 심하여 비교적 큰 값의 광류가 나타나는 반면, 보상 후에는 거의 흔들림이 없는 영상을 볼 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문은 스테레오 비전을 이용하여 휴머노이드 로봇의 자기 움직임을 보상하는 방법을 제안하였다. 스테레오 영상의 disparity map으로부터 gaussian filtering을 거쳐 ROI를 추출한 다음 wavelet을 이용하여 영상의 데이터 양을 줄이는 방법을 사용하였다. 또한 PCA를 영상의 회전에, FNCC를 영상의 변위에 사용하여 보상값을 측정하였다. 위의 제안한 방법을 실제 로봇에 적용한 실험을 통하여 제안한 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다. 앞으로 보다 범용적인 움직임 보상 방법들이 연구 되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2006년도 첨단융합건설기술개발사업[과제번호:06첨단융합D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Y. Chen and G. Medioni, "Object modelling by registration of multiple range images," in Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2724-2728, 1991.
- [2] L. P. Morency, R. Gupta, "Robust real-time egomotion from stereo images," Proceedings of Intl. Conference on Image Processing Vol. 2, pp. 719-722, 2003.
- [3] S. Vedula, S. Baker, P. Rander, R. Collins, and T. Kanade, "Three-dimensional scene flow," Intl. Conference on Computer Vision, Vol. 2, pp. 722-129, 1999.
- [4] I. T. Jolliffe, "Principal Component Analysis" Springer-Verlag, New-York, 1986.
- [5] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," International Journal of Computer Vision, Vo 1.60 pp.91-110, 2004.
- [6] S. Mallat, "A Wavelet Tour of Signal Processing," Academic Press, 1999.