

# 아이인핸드로봇의 영상 추적을 위한 실시간 거리측정

° 박 종철\*, 변 중남\*\*, 노 철래\*  
\* 삼성 전관, \*\* 한국 과학 기술원

Real-time Depth Estimation for Visual Servoing with Eye-in-Hand Robot

Jongcheol Park \*, Zeungnam Bien\*\*, CheolRae Ro\*

\* Samsung Display Device, \*\* KAIST

## Abstract

Depth between the robot and the target is an essential information in the robot control. However, in case of eye-in-hand robot with one camera, it is not easy to get an accurate depth information in real-time. In this paper, the techniques of depth-from-motion and depth-from-focus are combined to accomplish the real-time requirement. Integration of the two approaches are accomplished by appropriate use of confidence factors which are evaluated by fuzzy rules. Also a fuzzy logic based calibration technique is proposed.

## 1. 서론

다양한 지능형 로봇의 형식 가운데 하나인 아이인핸드로봇(Eye-in-Hand Robot)은 영상 입력을 위한 카메라를 로봇의 팔끝에 장치한 구조이다.[1][2] 이 구조는 입력 영상의 해상도를 효과적으로 변화할 수 있고 보다 유연한 시야를 가질 수 있는 장점이 있다. 그러나 동적으로 변화하는 영상을 처리해야 하고 폭넓은 초점거리의 변화가 요구된다는 단점이 지적되어왔다.

동적인 영상처리에서 가장 중요한 부분 가운데 하나는 3차원 인식의 기본이 되는 거리 정보이다. 고정된 카메라와 달리 카메라의 위치가 계속 변화하기 때문에 실시간 3차원위치 측정이 필수적으로 요구된다.

본 논문에서는 아이인핸드 로봇에서 문제가 되어왔던 영상의 초점을 이용하여 이동하는 물체까지 거리 정보를 추출할 수 있는 방법을 기술하였다. 제안된 방식은 한장의 영상을 이용하여 거리를 측정할 수 있기 때문에 영상처리의 용량이 줄어들고 실제 구현의 측면에서도 효과적이다. 또한 카메라의 이동을 고려한 모션스테레오 방식의 정보와의 융합을 통하여 보다 정확한 거리 정보를 실시간으로 획득할 수 있게 이용한다.

본 논문의 구성은 2절에서 핸드 카메라의 모션을 이용하여 이동하는 물체까지의 거리를 측정하는 것에 대해서 기술하였고 3절에서는 블러를 이용한

거리 측정을 서술하였다. 4절에서는 블러를 이용한 측정 거리 정보와 모션을 이용한 측정 정보를 혼합하는 것을 서술하고 마지막으로 간단한 실험 결과 및 결론으로 구성하였다.

## 제 2 절 핸드 장착 카메라의 모션을 이용한 거리 추출

스테레오 비전의 한 형태인 모션 스테레오는 카메라를 이동시켜서 생기는 영상 변화를 이용하여 거리를 측정하는 방식으로 정지된 물체에 대한 거리측정에 이용할 수 있다. 본 절에서는 일정한 속도로 움직이는 물체에 대해서 이용할 수 있는 거리 측정에 대하여 기술하고자 한다.

핀홀 카메라 모델을 이용하면 물체의 특징점들  $\{x_f(t)\}$ 는 영상평면위의 점들  $\{u_f(t)\}$ 로 맺히게 되고 초점거리를  $f$ 라고 하면  $k$ 시점과  $k+1$ 시점에서의 영상면에서의 특징점의 위치는 다음과 같이 기술된다.

$$u_1(k) = \frac{f}{D(k)} x_1(k),$$

$$u_1(k+1) = \frac{f}{D(k) - dD(k) - \delta D(k)} \{x_1(k) - dx_1(k) - \delta x_1(k)\}$$

식 1

여기서  $dD(k)$ 는 카메라의 변위, 이동물체의 단위 시간당 변위는  $dx_1(k)$ 이다.

$$l(k) = u_1(k) - u_2(k) = \frac{f \cdot \{x_1(k) - x_2(k)\}}{D(k)} \quad \text{식 2}$$

$$A(k) = \frac{-l(k+1)}{l(k) - l(k+1)}$$

라고 놓으면  $dD(k) \neq dD(k+1)$ 인 경우 다음과 같이 거리를 계산할 수 있다.

$$D(k+1) = \frac{A(k+1)dD(k+1) - A(k+1)dD(k)}{\left\{1 - \frac{A(k+1)+1}{A(k)}\right\}} \quad \text{식 3}$$

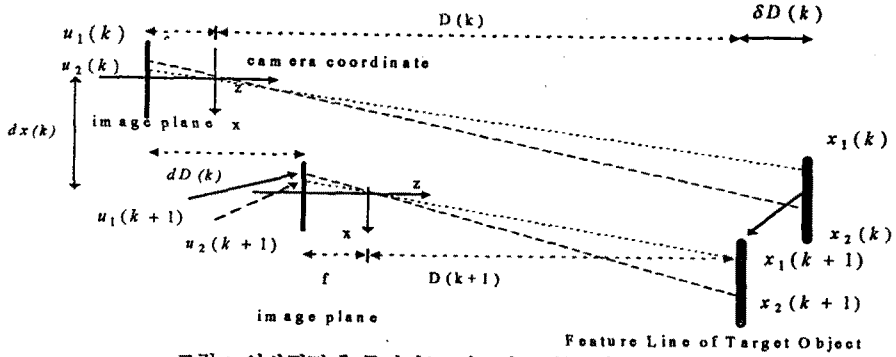


그림 1 영상평면에 투사되는 이동하는 물체의 특징점 변화

로봇의 영상제어에서 대개의 경우 일정한 샘플링 시간의 로봇의 이동 거리는 대개의 경우 일정하게 유지가 된다. 그러나 윗식으로 부터 일정하지 않은 거리  $dD(k) \neq dD(k+1)$ 를 이동한후 측정을 하게되면 일정한 속도로 이동하는 물체에 대해서 거리를 측정할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

### 제 3 절 블러를 이용한 거리의 측정

이제까지의 거리측정의 대응을 이루는 방식인 스테레오 방식은 두장의 영상을 얻어서 처리해야 한다는 단점과 두장의 영상에서 정합문제가 심각해진다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 하나의 영상과 렌즈의 파라미터만으로 거리를 측정할 수 있는 방식인 블러를 이용한 거리의 측정(Depth-from-Focus)은 영상의 블러링에 대해서 연구가 이루어진 이후로 1987년 펜트렌드가 블러를 가우시안으로 모델링하여 블러를 측정하고 거리로 환산하였다. 블러와 거리의 관계는 다음 식으로 주어진다. [3][4]

$$D = \frac{F \cdot v_o}{v_o - F - \sigma \cdot k \cdot f} \quad \text{식 4}$$

단,  $D$ 는 거리 초점거리  $F$ , f-number  $f$ , 렌즈 상수  $k$ , 영상평면과 렌즈 사이의 거리  $v_o$  와 블러의 크기  $\sigma$ 를 나타낸다.

이후 영상에 포함된 에지에서 측정된 블러를 이용하여 거리를 측정하는 문제는 크게 블러의 측정과 블러를 이용한 거리의 환산 문제로 나뉘어 진다. [5][6][7][8]

블러 측정의 경우 에지에서의 블러링이 2차원 가우시안과 에지의 컨벌루션으로 모델링된다. 블러의 크기인 전달함수 파라미터를 구하는 과정인 블러의 측정은 에지영상에서 역컨벌루션을 수행하기 때문에 시간이 많이 걸리는 단점이 있다.

본 논문에서는 블러의 측정을 실시간에 수행하기 위해서 1차미분 에지에 대해서 확률통계에서 이용되는 개념을 이용하여 다음과 같이 블러를 측정하였다. 1차원 에지에서 블러의 계산 식은 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum I'(x) \cdot x^2}{\sum I'(x)} - \left( \frac{\sum x \cdot I'(x)}{\sum I'(x)} \right)^2} \quad \text{식 5}$$

제안된 방식의 경우 기존의 역컨벌루션의 과정에 포함된 최적화 부분이 포함되지 않아서 블러를 측정하는 시간을 대폭 개선할 수 있다.

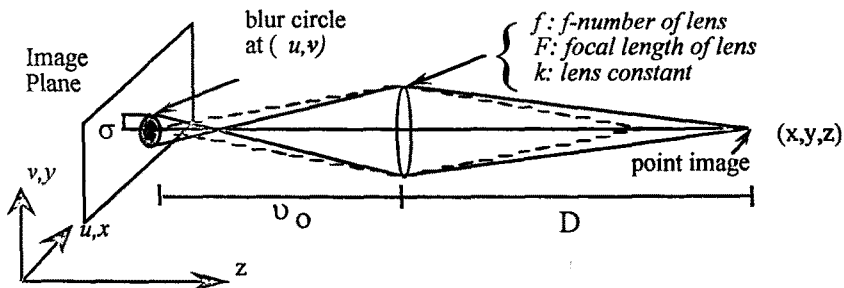


그림 2 가우시안 렌즈모델에서 블러링

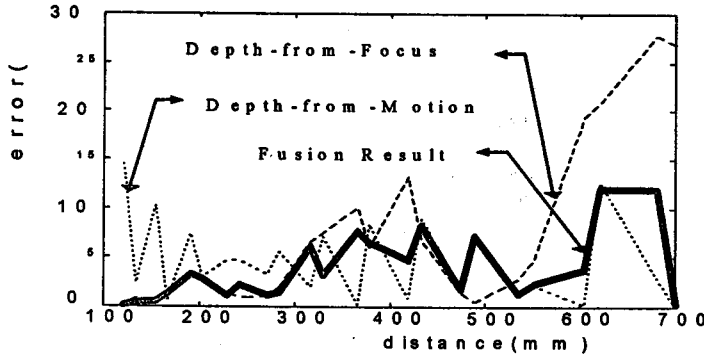


그림 3 블러를 이용한 거리 측정과 모션을 이용한 거리 측정 결과 및 융합된 정보  
제 5 절 결론

#### 제 4 절 영상추적에서 거리 측정

거리정보를 얻기 위한 다양한 방법들 가운데 본 연구에서는 블러를 이용한 거리 측정과 로봇 모션을 통한 거리의 측정을 이용하여 아이인 핸드 로봇의 영상 제어용 3차원 위치인식 시스템을 구성할 수 있다.

로봇이 작업 수행을 시작할 때 작업대상물은 원 거리에 위치하게 되고 작업 대상물의 정밀한 인식이 우선되어야 하므로 렌즈의 파라미터도 먼거리에서 선명하게 영상을 얻을 수 있도록 조정되어야 한다. 로봇이 물체의 추적을 계속하게 되면 근거리 내에 들어 오게 된다. 이때 거리의 측정은 최소 초점거리 이내에서 이루어지기 때문에 일정한 이동이 필수적인 모션스테레오에서의 거리정보보다 블러를 이용한 거리정보가 훨씬 정확하게 된다.

본 논문에서는 위에서 기술한 두가지의 거리 측정방식의 정보의 신뢰성을 계산해보고 각각의 신뢰성을 기반으로 두가지 거리정보를 아래와 같이 퍼지론을 이용하여 혼합하였다. [9]

Confidence factor of depth-from-focus  $\alpha$ :

R1: If  $\sigma$  is small, then  $\alpha$  is Small.

R2: If  $\sigma$  is Medium, then  $\alpha$  is Large.

R3: If  $\sigma$  is Large, then  $\alpha$  is Small.

Confidence factor of depth-from-focus  $\beta$ :

R1: If  $dD(k)$  is Small, then  $\beta$  is Small.

R2: If  $dD(k)$  is Large, then  $\beta$  is Large.

R3: If  $A(k)$  is Small, then  $\beta$  is Small.

R4: If  $A(k)$  is Large, then  $\beta$  is Large.

$$D = \frac{\alpha \cdot D_f + \beta \cdot D_m}{\alpha + \beta}$$

$D_f$ : depth - from - focus, 식 6

$D_m$ : depth - from - motion

본 논문에서는 이동하는 물체에 대한 아이인핸드 로봇의 영상추적에 효과적으로 이용할 수 있는 거리 측정을 기술 하였다. 제안된 방법은 블러를 이용한 거리의 측정과 모션을 이용한 거리 측정법을 각정보의 신뢰성을 평가하고 이를 바탕으로 융합되었다.

이를 위하여 모션을 이용한 거리 측정은 이동하는 물체에 대한 거리의 측정이 해석되었고 블러를 이용한 거리의 측정에서는 실시간으로 수행할 수 있는 블러의 측정법과 렌즈의 비선형성을 고려한 거리 환산법이 제안되었다.

제안된 방식의 거리 측정은 시뮬레이션을 이용하여 그 성능이 효과적으로 비교되었고 실제 실험을 통하여 결과를 보였다.

#### 참고 문헌

1. W.Jang and Z.Bien, "Estimation method for normalized feature Jacobian matrix using only one camera", *Electronics Letters*, vol 26, no. 25, pp.2100-2102, Dec. 1990.
2. P.K.Allen, B. Yoshimi, and A. Timcenko, "Real-time visual servoing", *IEEE Int'l Conf. Robotics and Automation*, pp. 851-856, 1991.
3. A.P.Pentland, "A new sense for depth of field," *IEEE Trans. PAMI*, vol. PAMI-9, no. 4, pp. 523-531, July 1987.
4. E. Krotkov, "Focusing", *Int. J. Comp. Vision*, vol. 1, pp223-237, 1987
5. J. Cardillo and M.A.Sid-Ahmed, "3-D position sensing using a passive monocular vision system", *IEEE Trans. PAMI*, vol. 13, no. 8, Aug. 1991.
6. S.H. Lai, C. Fu and S. Chang, "A generalized depth estimation algorithm with a single image," *IEEE Trans PAMI*, vol. 14, no. 4, April 1992.
7. J. Ens, P. Lawrence. "An Investigation of methods for determining depth from focus", *IEEE Trans PAMI*, vol. 15, no. 2, Feb. 1993.
8. J.Weng, P.Cohen and Marc Herc Herniou, "Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation", *IEEE Trans. PAMI*, vol. 14, no 10, Oct. 1992.
9. T.Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of system and its applications to modeling and control", *IEEE Trans. Systems, Mans and Cybernetics*, vol. SMC-15, no. 1, Jan 19