

# 3-Dimension 영상을 이용한 카메라 초점측정 및 동일축 이동 모델의 영상 정합

정 기 룡\*

Camera Focal Length Measuring Method and 3-Dimension Image Correspondence  
of the Axial Motion Model on Stereo Computer Vision

*Gi-Ryong, Jeong*

..... < 목 차 > .....	
Abstract	IV. 동일축 이동 모델에서 밝기 정보를 이용한 영상 정합
I. 서 론	V. 실험 및 결과
II. 동일축 이동 모델의 기하학적인 해석	VI. 결 론
III. 동일축 이동 모델과 좌우 대칭 모델을 이용한 카메라 초점 거리 측정	참고문헌

## Abstract

Camera arrangement for depth and image correspondence is very important to the computer vision. Two conventional camera arrangements for stereo computer vision are lateral model and axial motion model. In this paper, using the axial motion stereo camera model, the algorithm for camera focal length measurement and the surface smoothness with the radiance-irradiance is proposed for 3-dimensional image correspondence on stereo computer vision. By adapting the above algorithm, camera focal length can be measured precisely and the resolution of 3-dimensional image correspondence has been improved comparing to that of the axial motion model without the radiance-irradiance relation.

## I. 서 론

고도의 산업 발전과 정보 처리 기술의 향상은

인간의 시각 및 판단을 컴퓨터와 카메라를 조합시킨 영상 System을 통해 실현시키려는 노력은 Computer Vision이란 학문으로 연구 발전케 하였고,

\* 정희원 한국해양대학교

이 컴퓨터 비전은 로봇, 영상인식, 의용분야 및 공장자동화 부분에서 점차적으로 이용 분야가 확대되고 있다.

Computer Vision에서 중요한 것은 영상의 특징점 추출, 심도(Depth) 측정 및 영상정합(Image Correspondence) 등으로 요약되며, 스테레오 카메라 배열 방법에 의한 두 종류 모델은 좌우대칭모델(Lateral Model)과<sup>11,3)</sup> 동일축 이동모델(Axial Motion Model)<sup>11,4),6),9),12)</sup>이다.

그런데, 스테레오 카메라 배열 방법중 높이(Epipo-lar Line)가 동일하며, 렌즈중심축이 서로 평행하게 좌우로 카메라를 배열시키는 좌우 대칭 모델(Lateral Model)의 단점은 피사체(Object)를 두대의 카메라 공통 시야 범위(Common Field of View) 내부에 항상 있게해야 정합점이 생기며, 카메라 변위(Camera Displacement)를 증가시키면 공통 시야 범위가 작아지고 영상 정합 확률이 감소된다. 따라서 이것을 개선하기 위하여 본 논문에서는 첫째, 렌즈의 중심이 동일 축을 지나게하고 축 방향으로 서로 일정 거리를 떨어지게 카메라를 배열시키는 동일축 이동 모델(Axial Motion Model)을 제안한다.

둘째, Stereo Computer Vision에서 심도를 구하는 경우는 카메라의 초점거리를 구하는 것이 중요한 관건이 되는데, 본 논문에서는 카메라의 좌우 대칭 모델과 동일축이동 모델을 결합하여 동일한 심도를 측정함으로써 카메라 초점 거리를 간편하게 구하는 방법을 제안한다.

한편, 동일축 이동 모델의 기하학적인 관계만을 이용하여 앞쪽 카메라 영상을 뒤쪽 카메라 영상과 정합시키는 경우, 앞쪽 카메라 영상 크기와 뒤쪽 카메라 영상 크기가 변화하므로 앞쪽 카메라 영상에서 선택된 한개의 점에 대하여 뒤쪽 카메라 영상에서 정합점으로 될 가능성 있는 점들이 많아진다. 따라서, 시각을 갖춘 로봇을 공장 자동화 부분에 이용하기 위해서는 뒤쪽 카메라 영상에서 정합 가능성 있는 점들을 최대한 줄여서 한개의 정합점을 찾는 방법이 필요하게 된다.

이러한 이유에 의해서 본 논문에서는 한개의 정합점을 찾는 표면평활화(Surface Smoothness) Al-

gorithm도 본 논문에서 제안한다.

실제로 위에서 제안한 동일축 이동 모델의 실험 조건을  $Q_{min}=5$ ,  $Q_{max}=16$ , 카메라 변위  $\Delta Z=10cm$ , 카메라 초점 거리  $\lambda=1.6cm$ , 카메라 F 넘버=1.6으로 하였을 때 피사체 심도는 최대 9cm, 최소 2cm 정도의 오차가 있었고, 앞쪽 카메라 영상의 임의의 점과 그 점에 대한 뒤쪽 영상에 정합되는 픽셀 위치를 표면 평활화 알고리즘을 적용하여 컴퓨터 모니터로 확인 결과 표면 평활화 알고리즘이 대단히 정확한 정합점을 찾는다라는 것을 확인하였다.

특히, 본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서, II 장에서는 동일축 이동모델의 기하학적인 해석, III 장에서는 동일축 이동모델과 좌우대칭모델을 이용한 카메라 초점측정, IV 장에서는 동일축 이동모델에서 밝기 정보를 이용하여 영상정합을 하는 표면평활화 알고리즘을 제시, V 장에서는 표면평활화 알고리즘을 이용한 영상정합실험 및 결과를 구하고, 앞의 결과를 종합하여 VI 장에서 결론을 맺는다.

## II. 동일축 이동 모델의 기하학적인 해석

두 개의 카메라  $C_F$ 와  $C_B$ 는 그림 1에서와 같이 Z축 방향으로 서로  $\Delta Z$  만큼 떨어져 있고, 앞으로 나오는 모든 그림과 관련 수식에서 사용되는 첨자 F와 B는 Front와 Back을 나타낸다.  $C_F$ 와  $C_B$ 의 영상면은 각각  $\langle I_F \rangle$ 와  $\langle I_B \rangle$ 이,  $I_F$ 와  $I_B$ 는 두 개 영상면의 중심이며,  $I_B$ 는 공통(X, Y, Z) 직각 좌표의 원점으로 한다.

피사체의 임의의 점  $P(X_0, Y_0, Z_0)$ 에 대한 투영점은  $\langle I_F \rangle$ 에서  $P_F(X_F, Y_F, \Delta Z)$ ,  $\langle I_B \rangle$ 에서  $P_B(X_B, Y_B, 0)$ 이고, 카메라 초점거리  $\lambda$ 는 각각 선분  $C_F I_F$ 와 선분  $C_B I_B$ 이다.

삼각형 닮은꼴을 이용하면 다음 결과가 나온다.

$$\frac{X_0}{X_F} = \frac{Y_0}{Y_F} = \frac{\lambda + \Delta Z - Z_0}{\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{X_0}{X_B} = \frac{Y_0}{Y_B} = \frac{\lambda - Z_0}{\lambda} \dots\dots\dots (2)$$

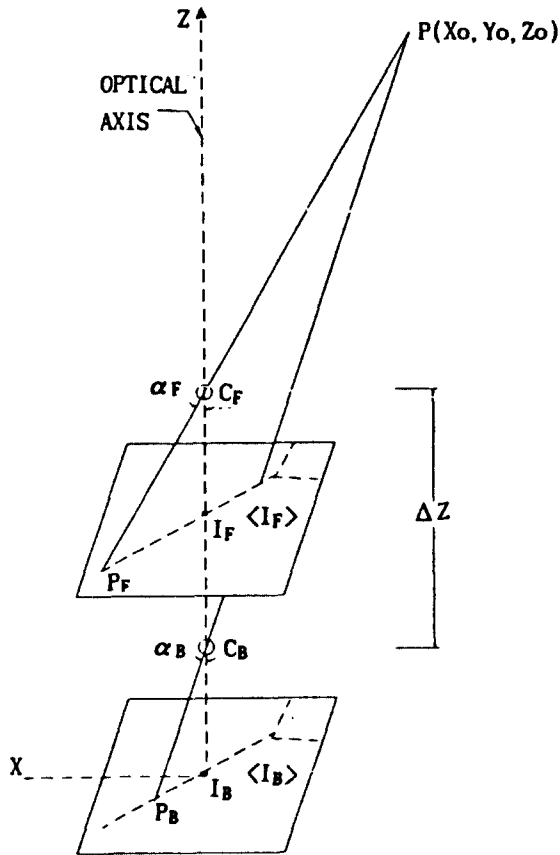


그림 1. 동일축 이동 모델.

여기에서  $\lambda = \overline{C_F I_F}$ ,  $\lambda = \overline{C_B I_B}$

결과적으로 영상점  $P_F$ 가  $\langle I_F \rangle$ 로 부터 선택된다면,  $\langle I_B \rangle$ 속에서 그것에 대한 대응점은 Image 중심을 지나는 선 위에 놓이게 되며, X축과의 사이각은 선분  $P_F I_F$ 와 X축과의 사이각과 동일하다.

그래서 대응하는 영상점들은  $Z_0 > \lambda + \Delta Z$ 에 대해서 그들 각각 영상면의 동일한 XY 평면에 있다.

1) 탐색 범위

그림 2에서 임의의 한 점  $P(X_0, Y_0, Z_0)$ 에 대한 투영점은 앞쪽 영상에서  $P_F(X_F, Y_F, \Delta Z)$ 인 점이 되고, 뒤쪽 영상에서는 투영점  $P_B(X_B, Y_B, 0)$ 가 된다. P의 위치가 직선  $FC_F$ 와 직선  $EC_C$ 에 의하여 그

러지는 선에 의하여 둘러싸여지는 두개의 카메라 공통 시야 범위 내에 존재하는 것 이에는 점 P의 위치에 관련된 어떠한 제한도 없다고 가정하면,

$$0 \leq X_B \leq X_F, \text{ for } X_0 \leq 0$$

$$X_F \leq X_B \leq 0, \text{ for } X_0 \geq 0$$

왜냐하면  $|X_F|_{\text{MAX}} = h/2$ 이면  $X_B$ 의 Range가  $h/2$ 보다 작아야하기 때문이다.

일반적으로 d가

$$h - \lambda \Delta X / d > h/2 \dots\dots\dots (3)$$

로 선택된 경우  $d > 2d_1 = 2\lambda \Delta X / h$ 된다.

또한  $X_R$ 에 대한 경우에서도 동일하지만  $X_B$ 의 범위를 결정하기 위한 점 P의 심도 위치에 부과되는 제약은 없다는 것이 여기서 주목할 사항들이다.

그림 1과 그림 2에서 언급하고 있는  $\langle I_F \rangle$ 속에서 투영하고 있는 P의 심도는 Q가 양의 실수 ( $Q > 1$ )일때  $Z_0 = Q\Delta Z + \lambda$ 로 쓸 수 있다.

그러므로

$$X_B = \frac{Q-1}{Q} X_F \dots\dots\dots (4)$$

$$Y_B = \frac{Q-1}{Q} Y_F \dots\dots\dots (5)$$

으로 된다.

그래서  $d = Q_{\text{max}} \Delta Z$ 인 경우  $C_B$ 로 부터 최대 심도 d 이내에 P가 존재한다고 가정할 수 있다.

그리고  $\Delta Z + \lambda < Z_0 \leq Q_{\text{max}} \Delta Z + \lambda$ 이기 때문에  $1 < Q_{\text{min}} \leq Q \leq Q_{\text{max}}$ 로 쓸수 있으며, 식 (4)로 부터

$$\frac{Q_{\text{min}} - 1}{Q_{\text{min}}} |X_F| \leq |X_B| \leq \frac{Q_{\text{max}} - 1}{Q_{\text{max}}} |X_F| \dots\dots\dots (6)$$

이 된다.

$|X_F|_{\text{max}} = h/2$ 로 주어진다면  $X_B$ 의 범위는

$$\frac{Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}}{2Q_{\text{max}}Q_{\text{min}}} h \text{이다.}$$

그래서  $X_B$ 의 탐색범위는 더욱더 줄어든다.

실제로 카메라변위  $\Delta Z$ 가 카메라  $C_F$ 의 최소 초점 거리 보다 작거나 같다면,  $Z_0 \geq 2\Delta Z + \lambda$  또는  $Q_{min} = 2$ 에 대한 피사체 점들을 고려한다는 것은 타당하다.

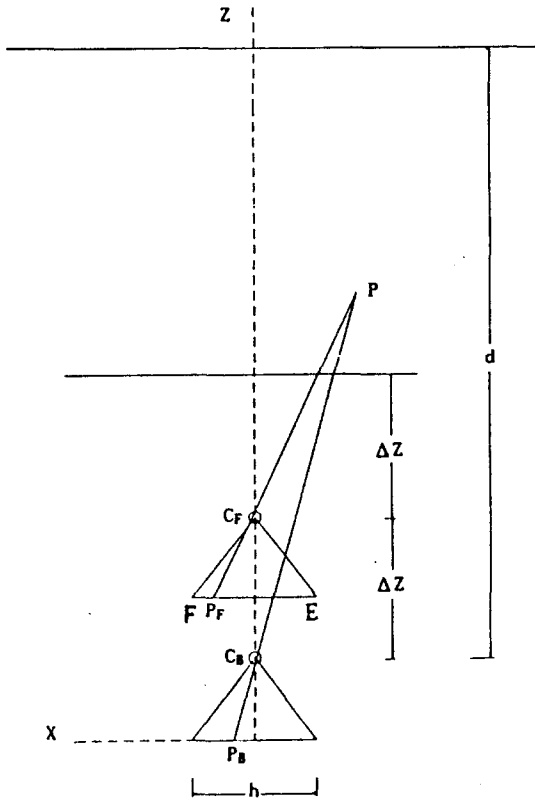


그림 2. 동일축 모델의 기하학적 표현

2) 동일축 이동 모델의 장점

동일 심도인 경우에 동일축 이동 모델의 탐색 범위는 좌우 대칭 모델의 탐색 범위보다 1/2이상 작아지며, 앞쪽 카메라에서 정합 대상점이 선택되면 그점은 뒤쪽 카메라의 공통 시야 범위내에 존재하여 피사체의 부재 현상은 일어나지 않고, 카메라 변위가 증가할 수록 심도의 정확도는 동일축 이동 모델보다 증가하며, 둘러싸임으로 인한 경우에도 영상 정합이 좌우 대칭 모델보다 우수하다.

3) 동일축 이동 모델의 단점

동일축 이동 모델의 단점은 주어진 오율  $\epsilon$ 과 카메라 변위  $\Delta Z$ , 피사체 심도  $Z_0$ , 카메라 초점 거리  $\lambda$ 가 정합을 위해서 고려될때, 피사체 심도가 음으로 되는 음심도반경(Negative Depth Radius)이 나타나는데, 이것은 앞쪽 영상 중심에서 이반경 내부에 있는 점들은 뒤쪽 영상과 어떠한 정합도 나타나지 않는 부분을 말한다.

이때 음심도반경( $R_N$ )은<sup>[1]</sup>

$$R_N = \epsilon(Z_0 - \lambda) / \Delta Z \dots\dots\dots (7)$$

또 다른 단점은 동일한 3차원 물체의 앞쪽 영상과 뒤쪽 영상이 서로 다른 픽셀 개수로 묘사된다는 점이다.

비록 이러한 현상이 다른 카메라 배열 방법에서도 일어난다 할지라도 카메라 변위가 상대적으로 클 때 동일축 이동 모델에 있어서 더욱더 명확하게 일어난다.

III. 동일축 이동 모델과 좌우 대칭 모델을 이용한 카메라 초점 측정

1) 동일축 이동 모델의 심도

그림 2의 동일축 이동 모델에서 카메라 초점 거리  $\lambda$ , 카메라 변위  $\Delta Z$ , 피사체의 임의의 점에 대한 앞쪽 영상과 뒤쪽 영상의 X좌표가 각각  $X_F$ ,  $X_B$ 인 경우 피사체의 심도  $Z_0$ 는 아래식과 같다.<sup>[1]</sup>

$$Z_0 = \lambda + \frac{X_F \Delta Z}{X_F - X_B} \dots\dots\dots (8)$$

2) 좌우 대칭 모델의 심도

그림 3의 좌우 대칭 모델에서 카메라 초점 거리  $\lambda$ 는 선분  $C_R I_R$ 과 선분  $C_L I_L$ 이고,  $I_R$ 과  $I_L$ 은 영상면의 중심이며, 카메라 변위는  $\Delta X$ , 피사체의 임의의 점에 대한 우측 영상과 좌측 영상의 X좌표가 각각  $X_R$ ,  $X_L$ 인 경우 피사체의 심도  $Z_0$ 는 아래식과 같다.

또한 그림 및 관련 수식에 나오는 첨자  $R$ 과  $L$ 은

각각 Right와 Left를 의미한다.

단 이 경우 두 개의 카메라는 동일한 Epipolar Line상에 있어야 한다.<sup>[3]</sup>

$$Z_D = \lambda + \frac{\lambda \Delta X}{X_L - (X_R + \Delta X)} \dots\dots\dots (9)$$

그래서 위의 식(8), (9)를 이용하여 동일한 심도를 측정하면 임의의 카메라 초점에 대한 정보를 얻을 수 있다.

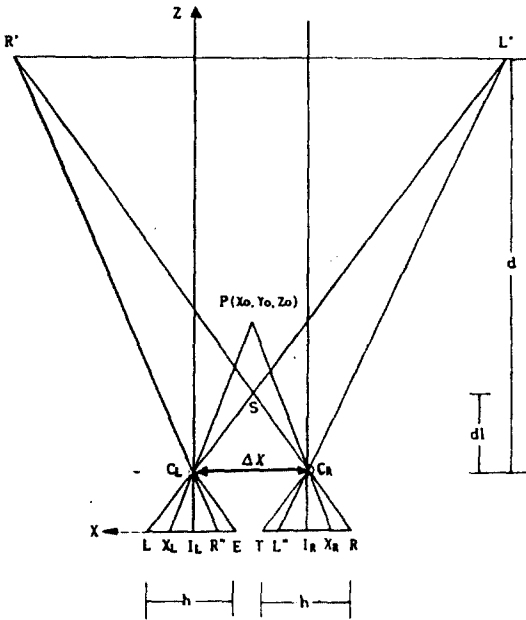


그림 3. 좌우 대칭 모델

#### IV. 영상 정합 방법

앞서 제시된 동일축 이동 모델의 기하학적인 해석에 의하여 해결되지 않는 영상 정합의 문제점은 피사체 밝기(Scene Radiance)와 영상의 밝기(Irradiance) 및 표면 평활화(Surface Smoothness) 개념을 이용하여 어느 정도 개선되어질 수 있다.

##### 1) 피사체 밝기

그림 4에서 R은 피사체 밝기이고, E는 정합점

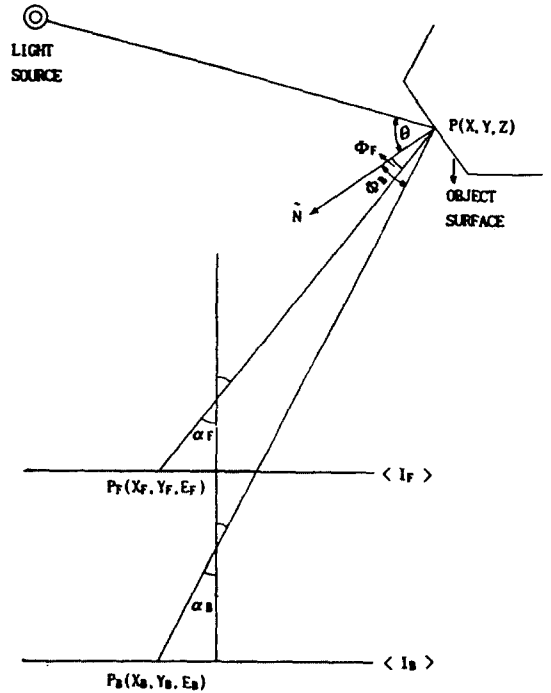


그림 4. 피사체와 영상의 밝기 이용 모델(Radiance-Irradiance Model)

영상의 밝기이다. 또한 R과 E는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.<sup>[1],[4]</sup>

$$E = \frac{\pi}{4} \frac{1}{f_N^2} R \cos^4 \alpha = k R \cos^4 \alpha \dots\dots\dots (10)$$

(10)식에서  $f_N$ 은 카메라 렌즈의 F 넘버,  $\alpha$ 는 피사체에서 렌즈로 입사하는 입사각이다.

만일 램버시안 피사체 표면(Rambertian Object Surface)이며 밝기  $I_c$ 의 평행 광원인 경우에는<sup>[13]</sup>

$$R = \frac{I_c}{\pi} \delta \cos \theta \dots\dots\dots (11)$$

윗 식에서  $\delta$ 는 반사 계수,  $\theta$ 는 입사광과 입사면과의 수직인 면과의 사이각이다.

이상적인 램버시안 표면인 경우는  $\delta=1$ 이다. 또한 밝기가  $I_s$ 인 반구의 광원인 경우는

$$R = I_s \delta \frac{1 + \cos \Phi}{2} = B_s (1 + \cos \Phi) \dots\dots\dots (12)$$

이때  $\Phi$ 는 피사체의 임의의 점에 대한 수직인 법선과 반사되어 카메라로 입사하는 광과의 사이 각이 된다.

2) 동일축 이동 모델에서 영상의 밝기

그림 4에서 피사체의 점 P(X, Y, Z)에 대한 영상면에 영상이 맺혀진 좌표의 밝기를  $E_F$ ,  $E_B$ 로 표시하면

$$E_F = \frac{\pi}{4} \frac{1}{f^2_N} R_F \cos^4 \alpha_F = k_F R_F \cos^4 \alpha_F \dots\dots\dots (13)$$

$$E_B = \frac{\pi}{4} \frac{1}{f^2_N} R_B \cos^4 \alpha_B = k_B R_B \cos^4 \alpha_B \dots\dots\dots (14)$$

여기서  $R_F = R_B = R$ 이고  $k_F = k_B = k = \frac{1}{4\pi} \frac{1}{f^2_N}$ 이다.

$$(X_B^2 + Y_B^2)_{\min} = \left[ \frac{Q_{\min} - 1}{Q_{\min}} \right]^2 (X_F^2 + Y_F^2) \dots\dots\dots (15)$$

$$(X_B^2 + Y_B^2)_{\max} = \left[ \frac{Q_{\max} - 1}{Q_{\max}} \right]^2 (X_F^2 + Y_F^2) \dots\dots\dots (16)$$

결과적으로

$$(\cos^4 \alpha_B)_{\min} = \frac{\lambda^4}{\left[ \left[ \frac{Q_{\max} - 1}{Q_{\max}} \right]^2 (X_F^2 + Y_F^2) + \lambda^2 \right]^2} \dots\dots\dots (17)$$

$$(\cos^4 \alpha_B)_{\max} = \frac{\lambda^4}{\left[ \left[ \frac{Q_{\min} - 1}{Q_{\min}} \right]^2 (X_F^2 + Y_F^2) + \lambda^2 \right]^2} \dots\dots\dots (18)$$

이 되며 점  $P_F$ 가  $\langle I_F \rangle$ 에서 선택되어진다면  $\langle I_B \rangle$ 에서 Matching되는 점은 아래와 같은 범위를 만족시켜야 한다.

$$\frac{Q_{\min} - 1}{Q_{\min}} |X_F| \leq |X_B| \leq \frac{Q_{\max} - 1}{Q_{\max}} |X_F| \dots\dots\dots (19)$$

$$\frac{Q_{\min} - 1}{Q_{\min}} |Y_F| \leq |Y_B| \leq \frac{Q_{\max} - 1}{Q_{\max}} |Y_F| \dots\dots\dots (20)$$

그리고 밝기에 관한 범위는 다음과 같다.

$$A_{\min} E_F \leq E_B \leq A_{\max} E_F \dots\dots\dots (21)$$

식(21)에서  $A_{\min}$ ,  $A_{\max}$ 는 다음과 같다.

$$A_{\min} = \frac{(X_F^2 + Y_F^2 + \lambda^2)^2}{\left[ \left[ \frac{Q_{\max} - 1}{Q_{\max}} \right]^2 (X_F^2 + Y_F^2) + \lambda^2 \right]^2} \dots\dots\dots (22)$$

$$A_{\max} = \frac{(X_F^2 + Y_F^2 + \lambda^2)^2}{\left[ \left[ \frac{Q_{\min} - 1}{Q_{\min}} \right]^2 (X_F^2 + Y_F^2) + \lambda^2 \right]^2} \dots\dots\dots (23)$$

그래서 다음의 식은 정합에 적용시키는 것이 적합하며, 모서리(Edge)에서 더욱 효과적이다.<sup>[10]</sup>

$$\mu = \left| 1 - \frac{E_B (X_B^2 + Y_B^2 + \lambda^2)^2}{E_F (X_F^2 + Y_F^2 + \lambda^2)^2} \right| \dots\dots\dots (24)$$

3) 표면 평활화(Surface Smoothness)

산업부문에서 이용되고 있는 피사체의 표면은 연속적이며 평탄한 표면으로 구성된 것이 많으며, 이러한 표면을 수식으로 표현하는 경우 3차원 표면  $Z=f(X, Y)$ 로 표현된다.

본 논문에서 영상 정합으로 사용된 표면 평활화 알고리즘은 X, Y의 변위에 대한 Z의 변화가 최소가 되는 점을 영상의 정합점으로 결정한다.<sup>[1],[4]</sup>

$$\left[ \frac{\partial f}{\partial X} \quad \frac{\partial f}{\partial Y} \right] = \left[ \frac{\partial Z}{\partial X} \right]^2 + \left[ \frac{\partial Z}{\partial Y} \right]^2 \dots\dots\dots (25)$$

또한 식(25)와 그림 4를 참조하면

$$R_F = B_s (1 + \cos \Phi_F) \dots\dots\dots (26)$$

$$R_B = B_S(1 + \cos \Phi_B) \dots\dots\dots (27)$$

의 식을 얻을 수 있다.

$$T = B_B^2 + Y_B^2 \text{이면}$$

$$R_B = B_S[1 + \cos(\alpha_F - \alpha_B + \Phi_F)]$$

또  $R_B$ 를  $\alpha_B$ 로 미분하면

$$\frac{\partial R_B}{\partial \alpha_B} = B_S \sin(\alpha_F - \alpha_B + \Phi_F) \dots\dots\dots (28)$$

여기에서 식(13), (26)을 사용하여

$$\Phi_F = \cos^{-1} \left[ \frac{E_F(X_F^2 + Y_F^2 + \lambda^2)^2}{B_S k \lambda^4} - 1 \right] \dots\dots (29)$$

$$\frac{\partial E_B}{\partial X_B} \approx \frac{E_B(X_B^{i+1} \cdot Y_B^i) - E_B(X_B^{i-1} \cdot Y_B^i)}{2 \Delta u} \dots (30)$$

$$\frac{\partial E_B}{\partial Y_B} \approx \frac{E_B(X_B^i \cdot Y_B^{i+1}) - E_B(X_B^i \cdot Y_B^{i-1})}{2 \Delta v} \dots (31)$$

위의 식(30), (31)에서  $\Delta u, \Delta v$ 는 연속적인 영상점들의  $\langle I_B \rangle$ 내에서 X, Y방향으로 각각 한 개의 픽셀 사이 거리이고, 뒷 첨자 i는 i번째 픽셀을 뜻한다.

$$\frac{\partial Z}{\partial X} = -\lambda \frac{4E_B T^{1/2}(T+\lambda^2)^2 X_B + \frac{\partial E_B}{\partial X_B} T^{1/2}(T+\lambda^2)^3 - \frac{\partial R_B}{\partial \alpha_B} k \lambda^5 X_B}{4E_B T^{3/2}(T+\lambda^2)^2 + \frac{\partial E_B}{\partial X_B} T^{1/2}(T+\lambda^2)^3 X_B - \frac{\partial R_B}{\partial \alpha_B} k \lambda^5 T} \dots\dots\dots (32)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Y} = -\lambda \frac{4E_B T^{1/2}(T+\lambda^2)^2 Y_B + \frac{\partial E_B}{\partial Y_B} T^{1/2}(T+\lambda^2)^3 - \frac{\partial R_B}{\partial \alpha_B} k \lambda^5 Y_B}{4E_B T^{3/2}(T+\lambda^2)^2 + \frac{\partial E_B}{\partial Y_B} T^{1/2}(T+\lambda^2)^3 Y_B - \frac{\partial R_B}{\partial \alpha_B} k \lambda^5 T} \dots\dots\dots (33)$$

$$\mu = \left| \frac{\partial Z}{\partial X} \right|^2 + \left| \frac{\partial Z}{\partial Y} \right|^2 \dots\dots\dots (34)$$

즉, 표면 평활화 알고리즘은 임의의 피사체 한 개의 점에 대한 투영점을 앞쪽 카메라 영상에서 찾고, 그 투영점에 대한 정합 가능성이 있는 점들을 뒤쪽 카메라 영상에서 모은후, 식(34)가 Zero

로 되는 점을 뒤쪽 카메라에서 가능성 있는 점들 중에서 정합점으로 취한다.

### V. 실험 및 결과

그림 5는 동일축 이동 모델의 실험 영상으로 좌측은 앞쪽 카메라 영상이며, 우측은 뒤쪽 카메라 영상이다. 실험 조건은  $Q_{min}=5, Q_{max}=16$ , 카메라 변위  $\Delta Z=10\text{cm}$ , 카메라 초점 거리  $\lambda=1.6\text{cm}$ , 카메라 F 넘버=1.6이었을때 피사체 심도는 최대 9cm, 최소 2cm 정도의 오차가 있었다.

이러한 오차는 픽셀로 심도를 계산할 때, 한 개 픽셀이 허용하는 오차 범위 내에 속하는 양이며, 앞쪽 카메라 영상의 임의의 점과 그 점에 대한 뒤쪽 영상에 정합되는 픽셀 위치를 표면 평활화 알고리즘을 적용하여 컴퓨터 모니터로 확인 결과 표

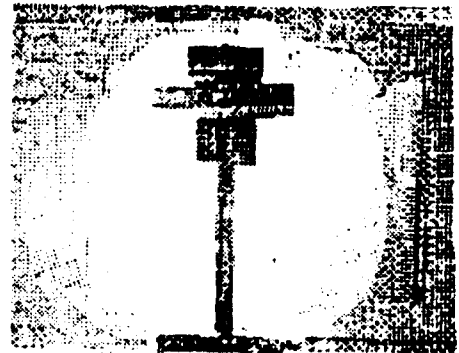


그림 5. (1) 앞쪽 카메라 영상



(2) 뒤쪽 카메라 영상

면 평활화 알고리즘이 대단히 정확한 정합점을 찾는다는 것을 확인하였다.

또한 동일축 이동 모델에서 정합될 수 없는 영역인 음심도 반경은  $\epsilon=1$  즉 뒤쪽 카메라 영상에서 픽셀(Pixel) 한개 이내의 오차로하는 정확도로 앞쪽 카메라 영상의 임의의 점에 대한 정합점을 찾는 경우에 피사체 심도가  $Z_0=160\text{cm}$ , 카메라 변위  $\Delta Z=10\text{cm}$ , 카메라 초점거리  $\lambda=1.6\text{cm}$ 이라면 식(7)에 의해서 음심도반경  $R_N$ 은 16이되고, 영상정합 시뮬레이션 결과 앞쪽 카메라 영상의 중심에서 반경 16개 픽셀 이내에 있는 점을 택한 경우 뒤쪽 카메라 영상에서는 그 점에 대한 정합점을 찾을 수 없었다.

이것은 위의 조건에서는 앞쪽 카메라 영상면의 중심점에서 16개의 픽셀 이내에 있는 영역에서는 CCD 카메라를 갖춘 로봇트가 인간을 대신하여 작업할 경우 오동작을 일으키는 영역이 되므로, 주의를 요한다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 Stereo Computer Vision에서 피사체 위치를 결정하기위한 카메라 초점거리를 발견하는 방법으로서 카메라의 좌우 대칭 이동 모델과 동일축 이동 모델을 결합하여 사용하는 것이 유용하다는 것과, 동일축 이동 모델에 있어서 영상 정합 방법상의 문제점들은 피사체의 밝기와 영상의 밝기 그리고 표면 평활화 방법을 적용하면 해결할 수 있음을 이론과 실험을 통하여 밝혔다.

그래서 본 논문에서 제시한 동일축 이동 모델을 이용한 산업용 로봇트에 표면 평활화 알고리즘을 적용하여 정확한 심도와 정확한 영상 정합을 시켜 로봇트가 인간이 하는 일을 대신 할 수 있는 가능성을 확인하였고, 이 모델을 이용한 시각을 갖춘 로봇트로 공장자동화를 시킬 경우 영상 정합시 정합이 되지않는 음심도 반경(Negative Depth Radius)이 나타나므로, 이 반경 내부를 피하여 대상 물체를 위치시켜야함을 밝혔다.

## 참 고 문 헌

- [1] Nicolas Alvertos, Dragana Brzakovic, Rafael C. Gonzalez. "Camera geometries for image matching in 3-D machine vision." IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.. Vol. 2. No. 9 Sept 1989, pp. 897-914.
- [2] N Alvertos. D. Brzakovic. and R. C. Gonzalez. "Correspondence in pairs of images acquired by camera displacement in depth." in SPIE Vol. 726. *Intelligent Robots and Computer Vision : Fifth in a Series*. Oct. 1986. pp. 131-136.
- [3] Rafael C. Gonzalez and Paul Wintz. "Digital Image Processing." 2nd Edition, Addison Wesley Co., pp. 1-59, 1987.
- [4] B. K. P. Horn. *Robot Vision*. Cambridge. MA : MIT Press, 1986.
- [5] D. H. Ballard and C. M. Brown. *Computer Vision*. Englewood Cliffs. NJ : Prentice Hall. 1982, pp. 199-202.
- [6] H. Itoh. A. Miyauchi. and S. Ozawa. "Distance measuring method using only simple vision constructed for moving robots." in *IEEE Proc. 7th Int. Conf. Pattern Recognition*. Vol. 1. Montreal. P. Q.. Canada. 1984, pp. 192-195.
- [7] K. Ikeuchi. "Reconstructing a depth map from intensity maps." in *IEEE Proc. 7th Int. Conf. Pattern Recognition*. Vol. 2. Montreal. P.Q.. Canada. 1984, pp. 736-738.
- [8] R. Jain. S. L. Bartlett. and N. O'Brien. "Motion stereo using egomotion complex logarithmic mapping." *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell..* Vol. PAMI-9. No. 3, pp. 356-369. May 1987.
- [9] D.Marr and Poggio. "A theory of human stereo vision." *Masachusetts Inst. Technol.. Tech. Rep. A. P. 451*. 1977.
- [10] R. Y. Tsai. "Multiframe image point mat-



- ching and 3-D surface reconstruction.” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* Vol. PAMI-5, No. 2, pp. 159-173. Mar. 1983.
- [11] T. D. Williams. “Depth from camera motion in a real world scene.” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* Vol. PAMI-2, No. 6, pp. 511-516. Nov. 1980.
- [12] Y Yakimovsky and R. Cunningham. “A System for extraction 3-D measurements from a stereo pair of TV cameras.” *Comput. Graphics Image Processing*. Vol. 7, pp. 195-209. 1978.
- [13] R.J.Woodham. “A computational vision approach to remote sensing.” *IEEE Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*. pp. 2-12. San Francisco. CA. June 19-23.
- [14] 李忠雄 画像공학 集文堂 28(1990).
- [15] 画像처리 회로기술의 모든것. 도서출판 세운 편집부 175(198).