

2차원 패턴 영상에서의 3차원 정보취득에 관한 연구

김태은*

요약

2차원 영상에서 물체의 3차원 정보를 얻는 문제는 컴퓨터 시각 연구에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 하지만, 대부분의 연구는 2차원 영상의 기하학적인 변화를 분석하는데 초점을 두었기 때문에 복잡한 계산과 많은 시간이 필요하고 고가의 장비를 요구한다. 본 논문에서는 먼저, 물체에 정현파 형태의 패턴을 능동적으로 투영한다. 그리고 물체의 형체에 따라 일어나는 왜곡으로부터 위상의 변화 추출, 이를 깊이 정보를 추정하는데 이용하는 방법을 제안한다.

The study of depth information acquisition in 2D pattern image

Tae-Eun Kim*

Abstract

It is significantly important problem in computer vision what is estimating 3D information from 2D images. However, most of the related works have been interested in the analysis of the geometrical changes of 2D image, so that, they need much time to solve the complex equations and expensive devices.

In this paper, we first actively project the pattern of the sinusoidal wave into the object. Then, we measure the change of the phase from the distortion occurring according to the shape of the object, and we use the change of the phase in order to estimate the depth information. This is our proposal.

Key words : 3차원정보취득, 패턴영상

1. 서론

3차원의 깊이 정보를 추출하는 데는 크게 능동적인 방법과 수동적인 방법이 있다. 수동적인 방법으로는 인간의 눈을 모델화한 양안 입체시법(binocular stereo vision)이 대표적이다[1]. 이는 2대 이상의 카메라가 물체를 촬영할 때, 카메라 사이의 상대적인 위치를 가지고, 삼각측량을 이용하는 방법이다. 이때 두 장 이상의 사진에서 공통된 부분을 찾는 문제가 생기는데 이를 정합문제라고 한다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위해서 2번째 카메라를 패턴, 점(dot), 직선의 빛 slit, 격자 등으로 대체한 능동적인 방법이 있다[3][4]. 이 방법은 투영된 패턴이 물체 표면에서 변형된 정도를 가지고 깊이를 획득하는 방법이다. 각각의 경우 장단점이 있다. 먼저, 양안 입체시법의 경우는 2대 이상의 카메라를 쓰기 때문에, 카메라 특성차에 의한 오류가 발생할 수 있다. 또한, 주된 대상이 특징점이 존재하는 대상에 사용된다. 능동적인 방법은 주로 부드러운 평면을 대상으로 하고,

한대의 카메라를 이용하기 때문에, 양안 입체시법에서 발생할 수 있는 카메라의 특성차이는 없다.

본 연구에서는 한대의 카메라와 광원, 그리고 광원과 물체 사이에 정현파를 사용한 패턴을 이용한다. 이때 물체 표면에서 패턴의 왜곡이 생기는데, 위상차를 이용하여 왜곡으로부터 물체의 깊이 정보를 추출하고자 한다. 이 방법은 한 장의 영상만으로 물체의 깊이정보를 추출하므로 계산량이 적다. 이는 3차원 정보를 필요로 하는 무인로봇이나 가상현실(virtual reality) 시스템 등에 적합하다[5].

2. 물체의 깊이정보 추출

본 논문에서 제안하는 방법은 그림 2와 같은 패턴을 사용한다. 이를 물체에 투영하면 왜곡된 영상이 형성되고, 이를 획득, 처리하는 방법을 제시하고자 한다. 그림 1은 제안된 방법을 이용해서 물체의 깊이정보를 획득하는 방법을 개략적으로 나타낸다.

* 제일저자(First Author) : 김태은

접수일 : 2005년 2월 13일, 완료일 : 2005년 2월 20일

* 남서울대학교 멀티미디어학과 교수

tekim@nau.ac.kr

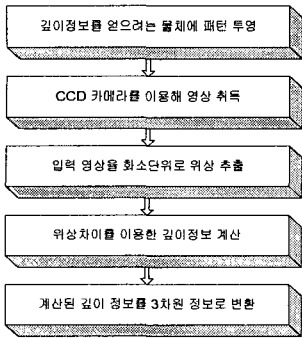


그림 1. 주파수 변화에 따른 깊이 정보 추출법

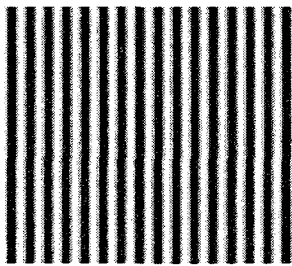


그림 2. 물체에 투영될 정현파형 패턴

단일 주파수 f_0 를 갖는 정현파형 패턴은 식 (1) 과 같이 표현이 된다.

$$B_x = k_1 \cos(2\pi f_0 \frac{x}{W_d + \theta_0}) + k_2 \quad (1)$$

이때 B_x 는 패턴에서의 밝기값을 나타내며, f_0, θ_0 는 패턴에서의 기본 주파수와 위상변위, W_d 는 영상에서의 폭을 나타낸다. 또한 k_1, k_2 는 영상의 최대값과 최소값을 설정할 때 사용되는 값이다.

따라서, 패턴에서의 최대값과 최소값은 각각 식(2) 와 식(3)으로 표현이 된다.

$$B_{MAX} = B_x(\theta = 0) = k_1 + k_2 \quad (2)$$

$$B_{MIN} = B_x(\theta = \pi) = -k_1 + k_2 \quad (3)$$

식(2), 식(3) 에 의해서

$$k_1 = \frac{1}{2} (B_{MAX} - B_{MIN}) \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{1}{2} (B_{MAX} + B_{MIN}) \quad (5)$$

이러한 패턴이 물체에 투영이 되면 물체의 형상에 따라서 식(6)과 같은 밝기가 나타난다.

$$B_d = \hat{k}_1 \cos(2\pi f_d \frac{x}{W_d} + \theta_0) + \hat{k}_2 \quad (6)$$

이때 물체 표면에서의 주파수 f_d 는 물체의 높이에 의해서 다음과 같이 변하게 된다.

$$f_d = \frac{f_0 d_0}{d_s + d_0 - d_z} \quad (7)$$

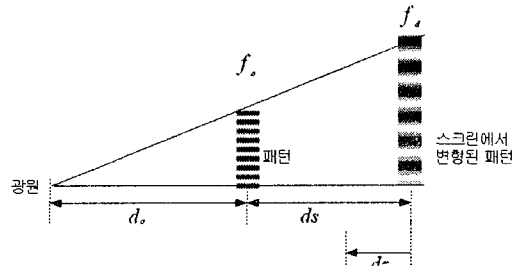


그림 3. 거리에 따른 주파수 변화

이 때 d_s, d_0, d_z 는 각각 패턴에서 물체가 놓여있는 곳까지의 거리, 광원에서 패턴까지의 거리, 그리고 물체의 깊이를 나타낸다.

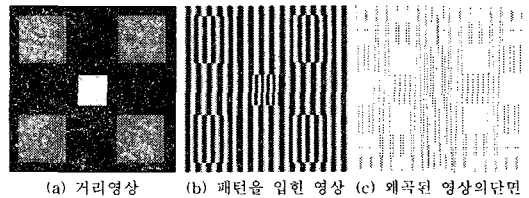


그림 4. $d_0: 100mm, d_s: 400mm, f_0 = 80$ 에서의 패턴 투영 결과

그림 4 는 패턴을 물체에 투영했을 때, 물체에 의해 왜곡된 영상을 보여주고 있다. 이는 식 (7)에서와 같이 물체의 깊이에 따른 f_d 의 변화에 의한 결과이다. 그림 4 (b)는 물체 표면에서의 패턴의 왜곡된 모습이고, 그림 4 (c) 는 영상 중간에서의 단면을 보여주고 있다. 그림 4 (c) 에서 고려해야 할 점은 물체가 있는 곳에서 주파수 변화가 일어났다는 점이다. 이는 곧 위상의 변화를 의미하며, 이를 이용하여 물체의 깊이 정보를 추출하고자 한다. 이때 불연속점이 존재하게 된다. 이러한 경우, 주변픽셀을 고려하여 값을 처리하였다.

다음 식을 살펴보자.

식(6)을 식(8)처럼 표현한다면

$$B_d = \hat{k}_1 \cos(\theta_x) + \hat{k}_2 \quad (8)$$

이 때 다음과 같은 식 (9)가 성립한다.

$$f_d = \frac{d\theta_x}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta_x}{\Delta x}, \quad \Delta x = 1 \quad (9)$$

식 (6) 에 의해서 위상은

$$\theta_x = \frac{W_d}{2\pi} \cos^{-1} \left(\frac{B_d - k_2}{k_1} \right) \quad (10)$$

로 나타낼 수 있다.

< θ_x 를 계산하는데 있어서 유의점 >

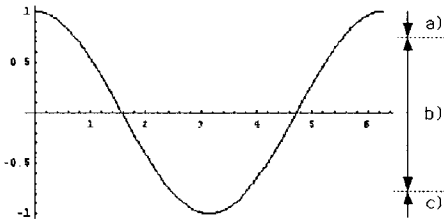


그림 5. 위상 측정시 주의점

그림 5 에서 d) 와 c) 의 경우를 생각해보자. 식 (10) 에서 처럼 ArcCos을 이용하여 위상을 계산하면 d), e) 경우 같은 값이 나온다. 이는 ArcCos의 계산 결과가 (0, π) 안에 존재하기 때문이다. 따라서, 이러한 경우를 고려해서 위상을 계산해야 한다.

- 1) B_{X-1}, B_X 가 b) 구간에 존재할 경우

$$\Delta \theta_x = |\theta_{X-1} - \theta_X| \quad (11)$$

- 2) B_r 는 b), B_{X-1} 는 a) 혹은 c) 구간에 존재할 경우

$$\Delta \theta_x = |\theta_X - \theta_{X-1}| \quad (12)$$

- 3) B_{X-1} 는 b), B_X 는 a) 혹은 c) 구간에 존재할 경우

$$\Delta \theta_x = |\theta_X - \theta_{X-1}| \quad (13)$$

기본적으로 1)~3) 과 같은 구간에 B_X 가 존재한다는 가정하에서 위상차를 구하였다. 식 (11), 식(12), 식(13) 이결과인데, 모두 동일하다. 따라서 더욱 간단한 계산이 가능하다. 이 구간 이외에, B_X, B_{X-1} 가 동시에 a) 혹은 c) 구간에 존재할 경우가 있다. 이때 위상을 계산할 때에는 단순히 2개의 B_X 값을 가지고 계산을 하면 오차가 발생할 가능성이 있다. 이때는 주변 화소값(B_X)를 고려해서 변화의 폭에 대한 오차가 가장 작은 값을 위상으로 취하는 방법을 사용했다.

이런 방법으로 위상의 차를 계산하고, 식(9)에 의하여

$$\hat{f}_d \approx \Delta \theta_x \quad (14)$$

식 (7)에 의해서

$$d_z \approx d_0 + d_s - \frac{f_0 d_0}{\Delta \theta_x} \quad (15)$$

와 같은 결과를 얻을수 있다.

이때, 평면의 경우, 즉 수평방향으로 변화가 없는 면의 경우, 식 (15)는 근사식이 아닌 등호가 성립하게 된다.

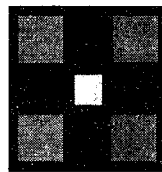
$$d_z = d_0 + d_s - \frac{f_0 d_0}{\Delta \theta_x} \quad (16)$$

3. 실험 및 검토

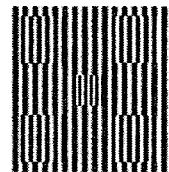
이 장에서는 제안된 방법을 통해 깊이정보를 추출하는 과정을 보여준다. 실험에 사용된 영상은 256*256의 영상이 사용되었고, Base position = 0 으로 하였다.

Base position 이 의미하는 것은 광원의 중심이 영상에 맺히는 수평방향 좌표를 의미한다. 여기서 제시한 방법은 위상을 고려해 물체의 깊이 추정을 하는 것이다. 이때, 정확한 기준점이 필요하므로 Base position =0 으로 하였다. 그리고 이러한 설정으로 나온 왜곡영상의 첫번째, 두번째 화소의 값은, 그림 (5)에서의 a), b), c) 구간을 나누는 기준으로 사용되었다. 광원의 경우 Base Position 을 중심으로 퍼진다는 가정 하에서 실험을 하였다.

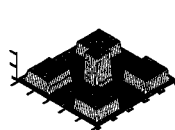
3.1 평면에 대한 실험



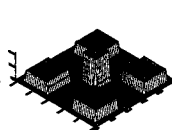
(a) 원시 영상



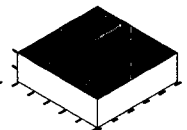
(b) 패턴 무명 영상



(c) (a)의 3차원 영상



(d) 복구된 3차원 영상



(e) 오차

그림 6. 평면 영상

그림 6 은 평면으로 이루어진 영상을 가지고 실험한

결과이다. 그림 6 (a) 는 거리 영상이고, 그림 6 (b) 는 패턴 투영 영상, 그림 6 (c), 그림 6 (d) 는 원본과 실험결과를 3차원 영상으로 나타낸 것이다.

이때 $d_0: 100(mm)$, $d_s: 400(mm)$, $f_0 = 80$ 의 상황에서 패턴이 투영되었다. 본 논문에서 제안된 방법은 식 (16)과 같이 수평방향으로 평면인 대상에 최적이기 때문에, 실험 결과 오차의 최대치는 3.55 였다. 영상의 최대 밝기 B_x 는 255이다.

3.2 수평방향으로 기울어진 면

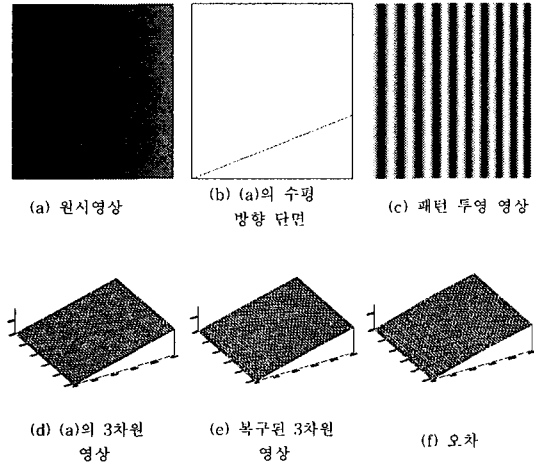


그림 7. 수평 방향으로 기울어진 면

그림 7 은 수평방향으로 기울어진 면에 대한 실험을 보여주고 있다. 결과는 일정각도로 기울어진 (a)는 (20도) (e) 처럼 복구가 되었지만 각도는 약 35 도로 결과가 나왔다. 이때 $f_0 = 40$ 으로 설정하였다.

3.3 수직방향으로 기울어진 면

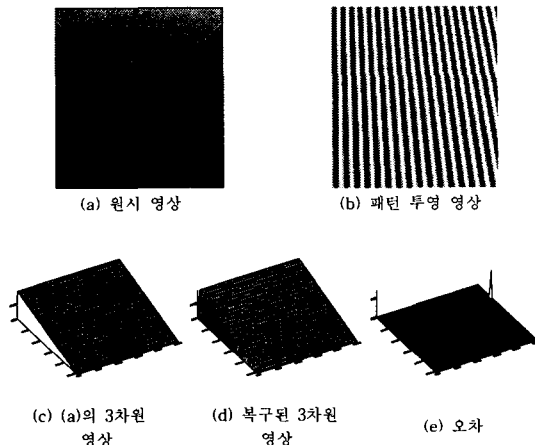


그림 8. 수직방향으로 기울어진 면

그림 8은 그림 7과는 다르게 수직방향으로 기울어진

면이다. 앞 실험과는 다르게 원시 영상의 수평 시작 부분에 0이 아닌 값이 존재한다. 이 논문에서 제안하는 방법은 첫번째, 두번째 밝기를 기준으로 2번째 영상부터 복원을 행한다. 따라서 수평방향 첫번째 성분의 오차를 0으로 하고 원시영상과 복구영상의 차이를 그림 (c) 에 나타냈다. 이 때, 최대 오차는 0.6 이었다.

3.4 수직방향으로 각이 있는 면

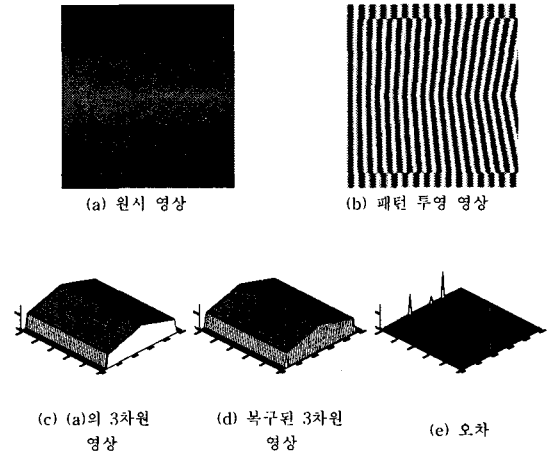


그림 9. 수직방향으로 각이 있는 면

그림 9 는 수직방향으로 각이 있는 면에 대한 실험 결과이다. 앞 실험과는 달리, 기울기가 증가, 감소하는 면에 대한 실험 결과이다. 오차에의 최대값은 3.2 였고, 수평방향의 마지막 좌표이다. 오차는 Base position=0 으로 일어난 결과이다

4. 결론

본 논문에서 위상차를 이용하여 깊이 정보를 추출하는 방법을 제시했다. 현재는 수평방향으로 변화가 없는, 평면이나, 수직방향으로 변하는 면이 있는 대상에 한정되었다. 또한 면의 불연속점에서는, 패턴 왜곡 영상의 불연속이 존재한다. 하지만 본 연구에서 제시한 방법의 가장 큰 장점은 간단한 실험환경과 ArcCos 과 사칙연산, 비교문을 이용하여 빠른 처리 속도를 낼 수 있다는 점이다.

지금까지 물체의 깊이 정보 추정을 위한 새로운 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 정현파 형태의 패턴을 물체에 투영시키고, 이에 따른 왜곡에서 위상차를 이용하는 것이다. 노이즈와 카메라의 해상도, 물체표면의 반사등이 문제가 될 수 있으므로, 이에 대한 보완책을 향후 고려해야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Biederman, "Human image understanding : recent research and theory," Comput. Vision, Graphics, Image Processing, Vol. 32, pp.2973, 1985
- [2] Scott E Umbaugh, Computer Vision and Image Processing, Prentice Hall PTR, 1998
- [3] J.BATTLE, E.MOUADDIB and J.SALVI , Recent Progress in Doded Structured Light as A Technique to solve the Correspondence Problem: A Survey, Pattern Recognition, Vol.31 (1998)
- [4] C.Wust and D.W.Capson, Surface profile measurement using color fringe projection, Mach, Vision Appl. 4, 193-203(1991)
- [5] D.C.D.Hung, 3D scene modelling by sinusoid encoded illumination, Image Vision Comput. 11(5), 251-256(1993)



김 태 은

1989년 중앙대학교 전기공학과
(학사)

1992년 중앙대학교 대학원
전자공학과(석사)

1997년 중앙대학교 대학원
전자공학과(박사)

1995년 삼성휴먼테크 논문대상 은상수상
1994년 ~ 1996년 한국과학재단(ERC) 참여연구원
1997년 ~ 현재 남서울대학교 멀티미디어학과 교수
관심분야 : 컴퓨터비전(영상인식), 증강현실,
멀티미디어시스템