

복합초점함수의 시간열 영상적용을 통한 3 차원정보복원에 관한 연구

김정길*, 한영준, 한현수(승실대학교 정보통신전자공학부)

Research for 3-D Information Reconstruction by Appling Composition Focus Measure Function to Time-series Image

ABSTRACT

To reconstruct the 3-D information of a irregular object, this paper proposes a new method applying the composition focus measure to time-series image. A focus measure function is carefully selected because a focus measure is apt to be affected by the working environment and the characteristics of an object. The proposed focus measure function combines the variance measure which is robust to noise and the Laplacian measure which, regardless of an object shape, has a good performance in calculating the focus measure. And the time-series image, which considers the object shape, is proposed in order to efficiently applying the interesting window. This method, first, divides the image frame by the window. Second, the composition focus measure function be applied to the windows, and the time-series image is constructed. Finally, the 3-D information of an object is reconstructed from the time-series images considering the object shape. The experimental results have shown that the proposed method is suitable algorithm to 3-D reconstruction of an irregular object.

Key Words: 3-D reconstruction (3 차원 복원), Time-series image (시간열 영상), Composition focus measure function (복합초점함수), Irregular object (비정형 물체)

1. 서론

3 차원 정보는 물체의 전체적 모양이나 부분적 특징을 입체적으로 표현하기 때문에 인간이 물체의 특성을 종합적으로 분석하거나 물체의 이상유무를 정확하게 판단할 수 있게 한다. 자동화 측면에서 위치나 방향과 같은 기계적 조작을 용이하게 하기 때문에 장비의 정렬, 부품 검사, 그리고 물체 인식 등에 사용되고 있다. 컴퓨터의 계산능력의 향상과 복잡한 작업환경에서 실시간 처리가 요구됨에 따라 빠르고 정확한 3 차원 정보를 복원하기 위한 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다.

일반적으로 3 차원 정보를 복원하기 위해, 두 대의 카메라를 사용하는 스테레오 비전 방법과 수직이동이 가능한 하나의 카메라에서 얻어진 영상들로부터 초점정보를 이용하는 방법 등이 있다.

스테레오 비전 방법은 기하학적인 면에서 인간의 눈과 유사하여 기하학적으로 정밀한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있지만 두 대 이상의 카메라를 사용해야 하기 때문에 화소 간의 정합 문제를 안고 있으며, 소형 물체나 구멍 등을 측정하기가 어렵다 [1,2]. 따라서, 최근에는 특별한 검출기가 필요 없고,

다소 적은 양의 데이터를 가지고 3 차원적인 정보를 복원할 수 있는 단일 카메라 방법을 사용하는 많은 연구가 이루어지고 있다.

수직이동이 가능한 한대의 카메라에서 얻어진 순차 영상들로부터 물체의 3 차원적인 정보를 복원하는 기존의 대부분의 SFF(Shape-From-Focus) 방법들은 하나의 영상 프레임(frame)에 대해 순차적으로 초점함수를 적용한다. 하지만, SFF 방법은 물체의 정확한 모양이나 3 차원적인 정보를 복원하기 어렵기 때문에, Subbarao 등은 하나의 영상 프레임이 아닌 이웃하는 영상들까지 포함하는 영상공간에서 FIS(Focused Image Surface)의 방법을 사용하였다[3]. 물체의 모양을 부분적으로 평면으로 근사화하는 FIS 방법은 비정형 물체의 3 차원적인 정보를 복원하는데 효율적이지 못하다. FIS 방법을 개선하여, Choi 등은 곡면 window 을 사용하는 FIS 방법을 제안하였다. 이 방법은 Window 의 9 개 점에 대해 초점함수를 적용한 값들로부터 추정된 곡면 window 를 사용하여 focus measure 을 계산했다[4,5]. 그러나 3 차원적인 정보 복원의 정확성은 향상시켰지만, 곡률 window 를 물체의 형태를 고려하지 않고 모든 영상 프레임에 적용함으로써 처리속도가 느리고 효

올성이 떨어진다.

Focus measure 로부터 FIS 를 얻는데 따른 어려운 점은 초점함수가 작업환경과 물체의 특성에 따라 영향을 받기 쉽다는 것이다. 기존의 초점함수는 Tenengrad, Brenner, Gradient, Variance, Laplacian 과 같은 다양한 방법들이 있으나, 물체의 특성이나 작업 환경에 따라 초점함수의 성능이 좌우된다[6,7]. 일반적으로 영상에서 잡음이 많은 경우에는 Variance measure 가 좋은 성능을 나타내며, Nayar 는 Laplacian measure 가 물체의 특성에 상관없이 좋은 성능을 갖는다는 것을 보였다[8].

따라서, 본 논문은 잡음 특성에 강인한 Variance measure 와 물체의 특성에 상관없이 좋은 성능을 보이는 Laplacian measure 를 결합한 복합초점함수와 물체의 형태를 고려하여 window 를 효율적으로 적용한 시간열 영상을 이용하는 방법을 제안한다. 시간열 영상은 각각의 카메라의 위치로부터 얻어진 영상에 대해 window 기반으로 복합초점함수를 적용하여 얻어진다. 그리고, 물체의 모양을 결정하는 FIS 는 시간열 영상으로부터 동일한 위치의 window 들로부터 가장 큰 focus measure 를 가지는 window 를 포함하는 영상으로부터 구해진다.

본 논문은 서론에 이어 2 장에서는 영상 프레임에서의 거리측정에 관해 설명하고 3 장에서는 시간열 영상의 구성에 관해 다룬다. 4 장에서는 시간열 영상적용을 통한 3 차원정보복원 기법에 관해 설명하고 5 장에서는 제안하는 알고리즘의 실험 및 결과를 논한 후 6 장에서는 결론을 맺는다.

2. 영상 frame 에서의 거리측정

수직으로 이동하는 카메라에 의해 순차적으로 얻어지는 영상 frame 은 렌즈 방정식과 배율에 따라 초점영역과 영상 size 가 달라지게 된다.

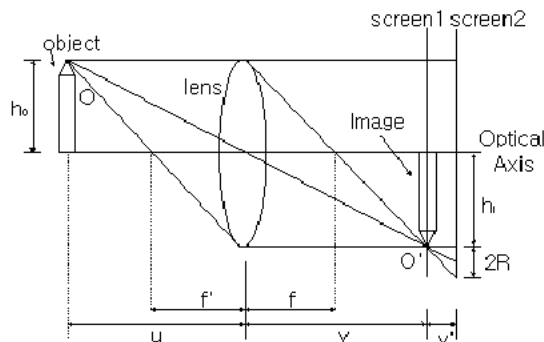


Fig. 1 Depth measurement based on the Lens principle

Fig. 1 에서 물체(O)가 카메라로부터 u 의 거리에 위치해 있으면 초점이 맞는 영상(O')는 렌즈로부터

v 만큼의 거리(screen1)에 위치한다. 즉, 렌즈 방정식은 물체와 렌즈의 거리(u), 렌즈와 상의 거리(v), 그리고 초점거리(f)의 관계를 이용하여 식 (1)로 표현된다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (1)$$

여기서, f 는 초점거리, u 는 물체와 렌즈의 거리, 그리고 v 는 렌즈와 상의 거리다. 식 (1)에서 보는 바와 같이 u 와 f 를 알면 v 가 결정되기 때문에 초점이 맞는 영상의 위치를 측정하면 거리를 계산할 수 있다. 본 논문에서는 렌즈와 screen 이 고정된 상태에서 카메라의 이동을 통해 물체의 초점영역 변화를 알아낸다.

카메라가 물체를 향해 수직으로 이동했을 때 순차영상은 이상적으로 어떠한 위치에서 영상을 얻어도 동일한 크기가 얻어져야 하지만 일정한 거리의 이동을 통해 얻어지는 영상은 크기의 변화를 가지게 된다. 이것은 렌즈의 특성으로 영상의 배율(m)로 정의되며 식 (2)를 따른다.

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{v}{u} \quad (2)$$

여기서, m 은 배율, h_o 는 물체의 높이, 그리고 h_i 는 상의 높이이다. 카메라가 물체에 가까워지면 식 (2)에서 u 가 짧아지고 배율 m 이 커지게 되므로 카메라가 아래로 일정거리를 이동하며 얻은 영상은 전 단계 영상보다 큰 영상을 얻게 된다.

3. 시간열 영상의 구성

3.1 복합초점함수

Focus measure 는 일반적으로 초점영역의 판단 기준으로 고주파 성분을 찾기 위해서 사용된다. 기존의 초점함수에는 Tenengrad, Brenner, Gradient, Variance, Laplacian 과 같은 다양한 방법들이 있다. 일반적으로 Variance measure 는 초점영역이 비 초점영역보다 gray level 의 변화율이 큰 특성을 이용하기 때문에 잡음에 강인하다. 그리고 Laplacian measure 는 영상에서 고주파성분을 강조하는 특성을 가지고 있어 밝기의 작은 변화에도 민감하게 반응하며, 물체의 특성과 상관없이 좋은 성능을 보인다. 하지만, Laplacian measure 는 미분연산자를 사용하기 때문에 잡음에 상당히 민감하다.

따라서, 본 논문은 잡음 특성에 강인한 Variance

measure 와 물체의 특성에 상관없이 좋은 성능을 보이는 Laplacian measure 를 결합한 복합초점함수를 제안한다. 복합초점함수는 식 (3)처럼 영상에 variance measure 를 적용한 후, Laplacian measure 를 순차적으로 적용한다.

$$f(x, y) = L(x, y) * \{O(x, y) * I(x, y)\} \quad (3)$$

여기서,

$$O(x, y) = \sum_y \sum_x [I(x, y) - \mu]^2, \quad L(x, y) = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial y^2} \quad \text{이다.}$$

3.2 Window 단위 처리 기법을 이용한 시간열 영상

본 절에서 다루어지는 측정물체의 효율적인 3차원적인 정보를 얻기 위해서 시간열 영상의 window 단위 처리기법을 이용한다.

일단 카메라의 수직 이동을 통해서 순차적 영상 frame 이 얻어진다면 각각의 영상 frame 에 대해 물체 영역에 대한 size mapping 을 수행하고, 다음으로 물체영역인 주 관심영역을 일정 크기의 window 로 나눈다. Fig. 2 에서 보는 바와 같이 각각의 높이에서 얻어진 영상 frame 에서 관심영역 ①, ②, ③에 대해 window 단위로 나눈다. window 의 중앙, 그리고 window 와 window 가 인접한 4 부분에 복합초점함수를 적용하여 값들의 평균값을 window 의 focus measure 로 결정한다. focus measure 가 결정된 window $a_1 \sim i_1, a_2 \sim i_2, a_3 \sim i_3$ 는 서로 비교 연산을 하게 되며 그 중에서 focus measure 가 가장 큰 값을 가지는 window 를 FIS 의 일부로 판단한다.

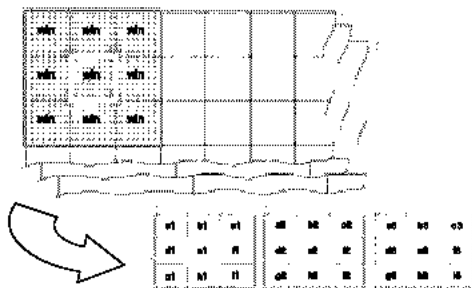


Fig. 2 Window unit in the object region.

4. 시간열 영상적용을 통한 3차원정보복원

시간열 영상을 이용해 물체의 3차원적인 정보를 복원하기 위해 제안하는 알고리즘의 구성은 Fig. 3

과 같다. 먼저, 카메라의 수직이동으로 얻어진 순차 영상에서 카메라 보정을 수행한다. 다음으로, 각각의 카메라의 위치로부터 얻어진 영상에 관해 물체 영역인 주 관심영역을 찾아내고, window 기반으로 복합초점함수를 적용하여 시간열 영상을 구성한다. 구성된 시간열 영상으로부터 동일한 위치에서의 window 들로부터 가장 큰 focus measure 를 가지는 window 을 FIS 의 일부로 판단한다. 마지막으로, 물체에 관한 FIS 가 구성되면 정확한 물체의 3차원적인 정보를 복원한다.

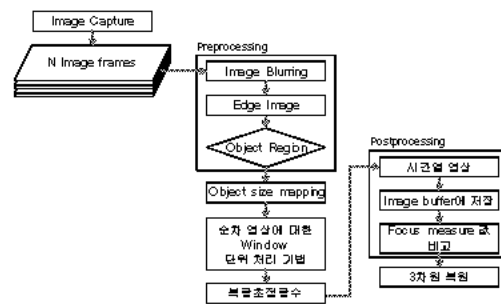


Fig. 3 Flow-chart of the proposed algorithm.

5. 실험 및 결과

본 논문에서는 Fig. 4 와 같이 구성된 비전 시스템을 사용하였다. 실험을 위한 비전 시스템은 카메라와 구동 모터들로 구성된 영상 획득부, 메인 컴퓨터로 구성된 영상 처리부로 나뉜다. 카메라 위치와 선반 위치 이동을 위해서 2.5μ m/pulse 정밀도를 가지는 5 상 여자 방식의 스텝 모터를 사용했으며 초기화와 이동범위를 벗어나는 것을 막기 위해서 각각의 좌표 축에 3 개씩의 광 센서를 사용했다. Controller 는 AT90S8515 를 사용했으며, RS-232 통신을 통해 컴퓨터와 데이터 통신으로 모터를 제어한다. 그리고 균일한 밝기를 얻기 위해 고휘도 LED 를 이용한 링 조명을 사용하였다.

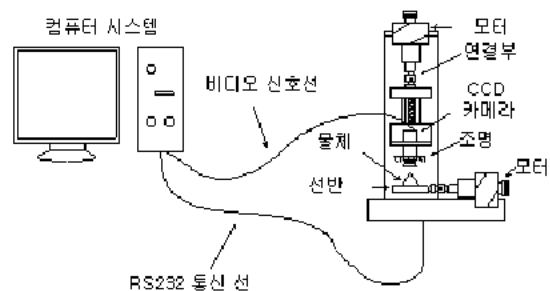


Fig. 4 Vision System used for experiments.

실험은 texture 를 가지는 여러 가지 물체에 대해 적용하였다. Fig. 5 는 사각뿔에 대하여 각 step 마다 나타나는 영상 프레임을 카메라 보정을 통해 얻어진 영상에 관해 window 단위로 복합초점함수를 적용한 시간열 영상이다. 물체의 높이는 카메라의 측정 범위 때문에 2.8 cm 이하로 하였고, 물체의 경사면이 다양한 물체에 대해서 적용하였다. 물체 옆면의 기울기가 급할수록 그리고 물체의 오목한 부분에 대해서 높이 측정 오차가 상당히 많이 남을 알 수 있었다.

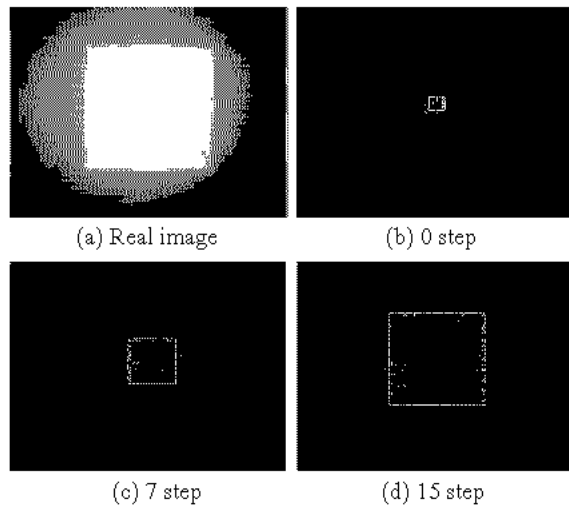


Fig. 5 Detected focus region in each step

6. 결론

본 논문은 2 차원 영상의 순차적인 획득을 통해 3 차원적인 정보를 복원함에 있어서 window 단위로 복합초점함수를 적용한 시간열 영상을 이용하는 방법을 사용하였다. 제안하는 방법은 Variance measure 와 Laplacian measure 을 결합한 복합초점함수를 사용함으로써 잡음에 강인하면서 정확한 focus measure 을 구했으며 FIS 을 얻기 위해 물체의 형태를 고려함으로써 계산을 많이 필요로 하는 window 의 수를 획기적으로 줄였다.

후 기

제안하는 방법은 정확한 물체의 3 차원적인 정보의 복원을 위해, 카메라 보정을 통해 초점함수를 물체의 경사면에 맞추어 focus measure 를 구하는 방법과 기존의 곡면 window 를 변형하여 물체 영역에만 적용하는 방법을 사용하였다. 카메라보정과 초점함수를 개선하여 정확한 focus measure 를 얻고 계

산속도도 향상시키는 효율적인 방법에 대한 고찰이 더 필요하다.

참고문헌

1. Oh, J. H., Jung, D. Y., Lee, C. H., Lee, S. C. and Nam, K. G., "Stereo Matching using Regularization with Preserving Discontinuities," Proceedings of IEEK Summer Conference '98, Vol. 21, No. 1, pp. 697-700, June 1998.
2. Kang, C. S., Kim, J. D., Lee, S. W. and Nam, K. G., "Stereo matching using dynamic programming with region partition," 대한전자공학회지, 제 34 권 S-6, pp. 573-582, 1997년 6월
3. Subbarao, M. and Choi, T. S., "Accurate recovery of three-dimensional shape from image focus," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 17, No. 3, pp. 266-274, March 1995.
4. Yun, J. I. and Choi, T. S., "Accurate 3-D shape recovery using curved window focus measure," Proceedings of the 1999 International Conference on Image Processing, Vol. 3, pp. 910-914, 1999.
5. Yun, J. I., and Choi, T. S., "Advanced shape from focus(SFF) method by using curved window," 대한전자공학회 1998년도 하계종합학술대회 논문집 (Proceedings of IEEK summer Conference '98), Vol. 21, No. 1, pp. 777-780, 1998.
6. Subbarao, M. and Tyan, J. K., "Selecting the Optimal Focus Measure for Autofocusing and Depth-From-Focus," IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, Vol. 20, No. 8, pp. 864-870, August 1998.
7. Yea, T. T. E., Ong, S. H., Jauasooriah and R Sinniah, "Autofocusing for tissue microscopy," Elsevier Science Image and Vision computer, Vol. 11, No. 10, pp. 629-639, December 1993.
8. Nayar, S. K., Nakagawa, Y., "Shape from Focus," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence archive Vol. 16, Issue. 8, August 1994.