

단일 카메라에 의한 3차원 재건 알고리즘

이효중*, 이상현**

*전북대학교 전자공학과

**전북대학교 정보통신학과

e-mail : hlee(shlee)@sel.chonbuk.ac.kr

3D Reconstruction Algorithm with a Single Camera

Hyo Jong Lee*, Sang-Hyun Lee**

*Dept of Electronics Engineering, Chonbuk National University

**Dept of Information & Communication, Chonbuk National University

요약

단일 카메라로 회전하는 물체의 영상을 획득한 후, 그 영상을 분석하여 3차원으로 복구하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 물체의 회전과 단 하나의 카메라를 이용하는 방법이기에 기존의 스테레오 영상을 이용하는 방법에 비해 차이를 둘 수 있다. 회전하는 물체에는 회전축과 동일한 방향의 스캔라인을 형성시키고, 이 스캔라인을 적절한 측면에서 하나의 카메라를 이용해 영상으로 획득하여 스캔라인의 굴곡과 이 스캔라인에 인접한 화소의 컬러 정보를 이용하여 3차원의 물체를 재건한다. 이 방법은 3차원의 정보를 얻음에 있어 물체의 회전에 의존하기에 한 방향에서 얻어진 두 스테레오 영상의 정합과 각 방향에서 얻어진 영상을 정합 시킬 때 발생될 수 있는 스테레오 비전의 오류를 피할 수 있다.

1. 서론

인간의 능력을 기계에 부여하는 인공지능 분야에 있어 인간의 시각 능력을 대신할 영상처리의 기술은 많은 발전을 거듭해왔다. 이러한 영상처리 기술의 발전은 과거의 기본적인 영상 처리 기술과 하드웨어의 발달, 다양한 프로그래밍 기법 등에 의하여 물체의 해석 또는 인식이 보다 효율적으로 가능해졌기 때문이다. 하지만 아직 광범위한 실세계의 영상에는 잘 적용되지 않아, 좀더 보편적인 영상에서의 처리가 가능할 수 있도록 강력한 알고리즘의 개발이 요구되어지고 있다. 특히 3차원을 재건하는 분야에 있어 입체적인 물체를 형성시키기 위해서는 더욱 많은 정확한 정보가 필요하다.

3차원 정보를 모노 비전에서 획득하는 방법은 영상을 처리함에 있어 매우 어렵거나 불가능한 경우도 있다[1]. 따라서 적절한 거리를 두는 두 개의 카메라를 이용하여 스테레오 영상을 획득하고 이를 정합시켜 disparity를 계산하는 스테레오 비전이 많이 이용

되어지고 있다[2][3]. 또한 현재에는 스테레오 비전에 있어 정합의 오류를 최소화하기 위한 많은 방법들이 제안되어지고 있고[3][4], 좀더 정확한 깊이 정보의 추출을 위해 스테레오에서 다중 카메라로의 확장에 대한 알고리즘이 개발되었다[4][5]. 그리고 3차원 재건에 있어 이러한 스테레오 영상을 이용하는 방법 외에도 레인지 데이터[6]와 모아레 방법]등의 다른 접근들도 많은 관심을 받고 있다.

여기서 제안하는 방법은 기존의 스테레오 비전에 의한 방법이 아닌 물체의 회전을 통한 3차원 재건을 제시한다. 재건시킬 물체에는 물체의 굴곡을 따라 스캔라인이 형성되어지고, 이 스캔라인은 하나의 카메라에 의해 획득되어진다. 이 때 스캔라인의 굴곡은 물체의 깊이의 정도에 따라 변화를 갖게 되는데 이 변화를 간단한 수식을 이용해 깊이 정보로 변환시키는데 이용되어진다.

본 논문은 제 2장에서 카메라, 물체, 회전축등의 기하학적 구조를 살펴보고, 제 3장에서는 이러한 구

조에서 깊이 정보를 추출하는 수식을 정의한다. 또한 제 4장에서는 결론을 통해 이 알고리즘을 이용한 3차원 재건의 방법을 제시한다.

2. 카메라 기하학

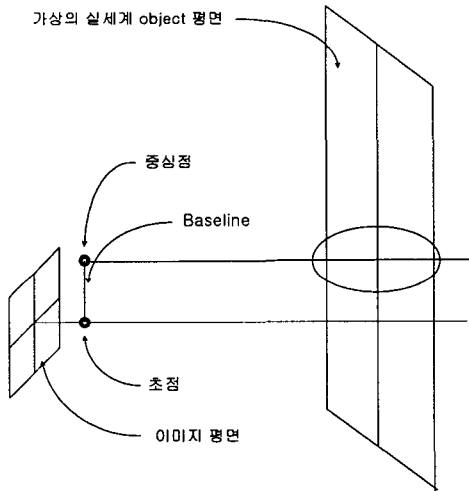
카메라의 위치와 스캔라인등의 기하학적 구조를 이용해 단일 카메라로 3차원의 재건이 가능하다. 본 절에서는 스캔라인의 형성과 카메라의 기하학의 구조를 살펴본다.

2.1 스캔라인의 형성

스캔라인은 물체의 깊이 정보를 알아내는데 중요한 정보를 제공한다. 이 스캔라인은 그림자를 이용하는데, 중심점을 지나면서 또한, 회전판과 수직을 이루는 회전축에 동일하게 형성되도록 한다.

2.2 카메라의 위치

중심점에서 스캔라인 평면과 수직을 이루는 직선 위에 카메라의 초점이 위치하게 된다. 여기서 중심점과 카메라의 초점사이의 직선을 Baseline이라 정의한다. 또한 카메라의 초점과 이미지 평면의 중심이 이루는 직선은 중심점과 회전판의 중심에 평행하도록 카메라를 위치시킨다. (그림 1)은 회전축, 회전판의 중심, 카메라의 초점, 이미지평면의 중심사이의 대한 관계를 나타낸다.



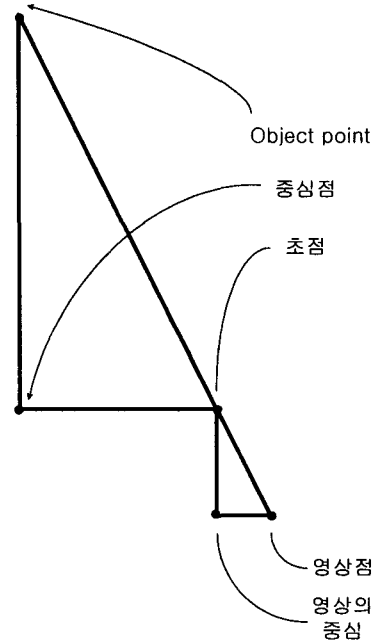
(그림 1) 카메라의 위치

2.3 닦은꼴 삼각형의 형성과 구조

앞의 두 절에서 우리는 스캔라인의 형성과 카메라

의 위치를 살펴보았다. 이 절에서는 이러한 형태에서 얻을 수 있는 닦은꼴 삼각형의 구조를 살펴보고자 한다.

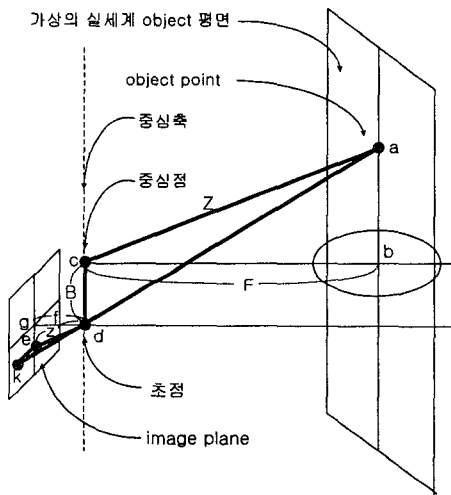
(그림 2)는 어떠한 물체에 대하여 그 물체와 중심점, 초점사이에서 형성되는 삼각형과 초점, 이미지 평면, 그리고 물체가 이미지 평면에 맺히는 상 (영상점)사이에서 형성되는 삼각형의 구조를 나타낸다. 또한 (그림 2)에서와 같이 이 두 삼각형 사이에는 닦은꼴의 구조를 갖는다. 즉 실제세계 좌표와 관련을 갖는 삼각형과 카메라에 의해 우리가 얻을 수 있는 영상점을 꼭지점으로 갖는 삼각형 사이에는 비례관계를 갖게 된다.



(그림 2) 제안된 구조에서 얻어진 닦은꼴 삼각형의 구조

여기서 우리가 알고 있는 정보는 Baseline의 길이, 중심점과 회전축의 거리, 영상점의 좌표, 초점거리, 초점과 영상점의 거리이고, 형성되는 삼각형은 비례하기 때문에 이 삼각형들은 실제 물체의 깊이 정보를 알아내는데 중요한 역할을 하게 된다. 뿐만 아니라, 이 닦은꼴의 구조는 초점과 이미지평면의 y축이 이루는 평면이 스캔라인평면과 상호 평행을 이루기 때문에 실제세계 좌표의 y축에도 모두 적용된다.

(그림 3)은 실세계좌표의 y축에 대해서도 닦은꼴의 삼각형이 형성되는 것을 보여주는데, 이러한 y축상에서의 적용 때문에 스캔라인은 물체의 y축을 스캔해 주는 역할을 하는 것이다. 또한 물체의 회전에 의해 1회전하는 동안 계속적으로 물체의 y축에 대한 중심축과의 거리 정보를 알아내기 위해 이를 이용하여 물체의 깊이 정보를 연속적으로 추출해내고, 결국 물체가 한번의 회전이 이루어 졌을 때, 얻어진 모든 깊이정보를 이용하여 물체를 3차원으로 재건하게 된다.



(그림 3) y축 상에 object point의 적용 관계

3. 깊이 정보의 추출을 위한 관계식 유도

3.1 중심점으로부터의 깊이정보 추출

물체의 깊이 정보를 추출하기 위해 우리는 알고 있는 정보를 최대한 활용해야 한다. 카메라의 초점 거리와 이미지 평면에 맺힌 영상점의 좌표, Baseline의 길이가 알고 있는 정보이고, 여기서 알아내려는 정보는 중심축에서 object point까지의 거리이다. 먼저 (그림 3)에 표시한 기호들과 깊이 정보 추출에 필요한 변수들을 구체적으로 정의한다.

- Z : 선분 ac의 길이 (추출하고자 하는 깊이)
- B : 선분 cd의 길이 (Baseline의 길이)
- F : 선분 bc의 길이
- f : 선분 dg의 길이 (카메라의 초점거리)
- z : 선분 de의 길이
- x : 선분 ek의 길이 (영상점의 x좌표)
- y : 선분 el의 길이 (영상점의 y좌표)

z의 길이를 알아내기 위해 $\triangle deg$ 를 이용한다.

$$z = \sqrt{f^2 + y^2} \quad (1)$$

Z와 z, B와 x는 모두 $\triangle abc$ 와 $\triangle deg$ 에 의해 비례 관계를 나타내므로 아래와 같은 간단한 수식으로 Z를 알아낼 수 있다.

$$Z : z = B : x$$

$$Z = \frac{z \times B}{x} \quad (2)$$

여기서 (1)을 (2)에 대입하여, 중심점으로부터의 깊이 정보인 Z를 식(3)의 형태로 만들 수 있다.

$$Z = \frac{\sqrt{f^2 + y^2} \times B}{x} \quad (3)$$

하지만 이 깊이 정보는 3차원 재건에 직접적으로 이용되어질 수는 없다. 만약 중심점으로부터 동일한 거리를 가지고 있는 호를 생각해 보자. 이 호는 호를 이루는 각각의 점들이 모두 다른 깊이 정보를 가지고 있다. 그러나 이 Z는 모두 같은 깊이로 계산되어진다. 다음 절에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법을 살펴보도록 한다.

3.2 중심축으로부터의 깊이정보 추출

중심점 c를 포함하고 Baseline B에 수직을 이루는 중심축으로부터의 깊이정보는 앞절에서의 문제점을 해결할 수 있다. 또한 이 중심축으로부터의 깊이정보는 $\triangle abc$ 와 $\triangle deg$ 의 닦은꼴을 이용하여 얻을 수 있다. 카메라의 초점거리인 f(선분 dg)와 중심점과 회전축의 점b까지의 거리 F(선분 bc) 그리고 z(선분 ed)와 Z(선분 ac)는 아래식과 같은 비례관계에 있다.

$$Z : z = F : f$$

$$F = \frac{Z \times f}{z} \quad (4)$$

여기서 식(1)을 (4)에 대입하면 중심축으로부터의 깊이정보인 F를 알 수 있다.

$$F = \frac{Z \times f}{\sqrt{f^2 + y^2}} \quad (5)$$

4. 결론

우리는 2.1절에서 스캔라인의 형성 방법을 살펴 보았다. 이 스캔라인은 중심점을 지나고 회전축에 동일하게 형성되기에 이 스캔라인에 인접한 세로 픽셀들의 컬러특성을 알아내고, 또한 3장에서 제시된 수식을 이용하여 중심축으로부터의 깊이정보를 추출 해서 각각의 픽셀에 이를 적용시켜 물체를 3차원으로 재건할 수 있다. 제안된 알고리즘을 적용시켜 물체를 3차원으로 재건함에 있어 선행되어야 할 점은 아래와 같다.

(1) 이 알고리즘을 적용시킬 수 있는 물체의 영상은 물체가 회전함에 있어 회전 속도가 균일하게 1회전이 이루어지는 상황에서 획득된 영상이어야 한다.

(2) 좀더 정확한 깊이정보를 추출하기 위해서는 더욱 높은 해상도를 가져야 한다.

(3) 컬러정보와 깊이정보를 이용하여 3차원으로 재건함에 있어, 필요한 프레임의 수를 판단하기 위한 픽셀이 차지하는 면적을 파악해야 한다.

본 논문에서는 단일 카메라를 이용하여 물체를 3차원으로 재건하는 알고리즘을 제시하였다. 이러한 알고리즘의 장점은 단일 카메라이기에 정합의 과정과 이 과정에서 일어날 수 있는 오류를 없앨 수 있고, 더욱 정확한 깊이정보의 추출이 가능하다는 점을 들 수 있다. 하지만 세밀한 깊이정보를 위한 고해상도의 영상일 경우 너무 많은 영상을 처리해야 하는 점이 문제점일 수 있다. 지금까지의 알려진 방법이 아닌 새로운 방법의 알고리즘인 만큼 향후 더욱 많은 실험을 통해 발생하는 문제점들을 해결해야 할 것이다.

<현재 이 알고리즘에 대한 실험이 이루어지고 있습니다. 정확한 깊이정보 추출을 위해 고해상도의 카메라를 사용하여 처리해야 할 영상의 양이 예상보다 많았고, 약간의 오류를 수정하고 있기에 9월 28일까지 실험 결과를 포함하여 최종 수정본을 제출하도록 하겠습니다.>

참고문헌

- [1] Kazuo Yamaba, "Robot Bicolor System", In Proceedings of the Machine Vision Applications in Industrial Inspection VII, pp 129-137, January 1999.
- [2] Lengagne R, Fua P, Monga O, "3D stereo reconstruction of human faces driven by differential constraints", Image & Vision Computing, vol.18 no.4, pp 337-343, March. 2000.
- [3] Yau WY, Wang H, "Fast relative depth computation for an active stereo vision system", Real-Time Imaging, vol.5 no.3, pp 189-202, June. 1999
- [4] J.I.Park, S.Inoue, "Acquisition of sharp depth map from multiple cameras", Signal Processing Image Communication, vol.14, no1-2, November. 1998
- [5] Toshio ISOBE Zhaoming WANG, Susumu FURUKAWA, "A Method for Reconstructing 3D objects from Multiple Stereo Image Data", Journal of the Japan Society for Precision Engineering, vol.64, no10, pp 1451-1455, October, 1998.
- [6] Lee WS, Magnenat-Thalmann N, "Fast head modeling for animation", Image & Vision Computing, vol.18, no.4, pp 355-364, March, 2000.