

한 장의 영상으로부터 3차원 환경 모델의 생성

류승택
한신대학교 소프트웨어학과

The Generation of 3D Environment Model From a Single Image

Seung-Taek Ryoo
Dept. of Software, HanShin University

요 약

본 논문은 현실감 있는 영상 기반 환경 모델의 생성을 위해 영상 분할 기반 환경 모델링 방법을 제안한다. 입력 영상을 환경 특성에 따라 바닥면, 천정(하늘), 주변 물체들로 분할하고 분할된 바닥면이나 천정을 참조 평면으로 설정하고 주변 물체들의 깊이값을 계산함으로써 상세한 환경 모델을 얻을 수 있다. 영상 분할 환경 모델링 방법은 환경 맵에 적용하기 용이하며 환경의 특성에 따른 깊이값 추출 방법으로 손쉽게 환경 모델링이 가능하다. 또한, 시점이 이동되고 시차를 갖는 환경의 표현이 가능하다.

1. 서론

환경을 자유롭게 탐색하기 위해서는 환경 정보를 이용한 환경 모델링 기술들이 필요하다. 이러한 기술들 중 2차원 영상으로부터 기하 정보를 복원하여 환경을 3차원으로 모델링하고 탐색하는 영상 기반 모델링 방법이 활발히 연구되고 있다. 이 방법은 전처리 작업으로 환경을 표현하는 실제 영상으로부터 기하 정보를 뽑아내어 환경을 구성하므로 실시간 렌더링 가능하다는 특징이 있다.

본 논문에서는 깊이값 복원을 위해 영상 분할을 통한 깊이값 획득 방법을 제안한다. 이 방법은 분할된 영상 특성에 따라 바닥면, 천정(하늘), 주변 물체들로 분할을 통해 빠르고 손쉽게 깊이 영상을 획득할 수 있다. 이러한 깊이값 획득 방법에 의한 깊이 영상 획득을 통해 3차원 환경 모델을 구성할 수 있다. 구성된 환경 모델은 시점이 변경되는 자유로운 환경 탐색을 가능케 한다.

2. 관련 연구

환경에 대한 정보를 유추해 낼 수 있다면 한 장의 영상으로부터 환경 모델링이 가능하다. 이러한 방법으로는 환경에 대한 정보를 소실점과 소실선에 의해 재구성하는 방법[1-3], 상호작용에 의한 영상 편집 방법[4, 5] 등이 있다. 첫 번째 방법은 소실점을 이용해

여 구해진 평면을 기반으로 환경을 모델링하기 때문에 상세한 환경 모델을 구성할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 두 번째 방법은 상세한 환경의 재구성이 가능하나 이를 위해 여러 가지 툴들을 이용한 사용자의 상호작용을 필요로 한다. [1, 2, 4]에서는 영상 특징들의 깊이값을 설정하기 위해 참조 평면을 이용하였다. [1]에서는 스피어더 매쉬로 구성된 평면을 참조하여 스프라이트의 깊이값을 설정하였고 [2]에서는 참조 평면과 평행한 평면과 소실점의 관계에 따라 거리를 계산하였다. [4]에서는 바닥 평면 툴과 수직 툴을 사용하여 참조평면에서의 위치값을 설정할 수 있도록 하였다.

최근에는 일반 영상뿐만 아니라 파노라마 영상을 이용한 3차원 환경을 재구성방법이 연구되어지고 있다. 파노라마 영상을 이용하여 환경을 모델링하는 방법들에는 소실점을 이용한 방법[6]과 다중 환경맵을 이용하여 상호 관계를 설정하는 방법[7] 등이 있다. 첫 번째 방법은 앞에서 설명하였듯이 소실점을 이용하여 환경을 모델링하므로 상세한 환경 모델을 얻기 힘들다. 다음 방법은 여러 장의 환경맵이 필요하며 관계 설정을 위해 많은 비용이 드는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 보다 상세한 모델을 구하기 위해 평면의 수직/수평을 이용한 분할 기반 환경 모델링

방법을 제안하였다. 입력 영상을 환경 특성에 따라 바닥면, 천정(하늘), 주변 물체들로 분할하고 분할된 바닥면이나 천정을 참조 평면으로 설정하고 주변 물체들의 깊이값을 계산함으로써 사색한 환경 모델을 얻을 수 있다. 분할 기반 환경 모델링의 특성에 대해서는 다음 장에서 알아보기로 하자.

3. 영상 분할 기반 환경 모델링

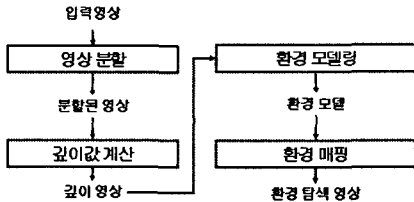


그림 1. 영상 분할 기반 모델링의 구성도

영상 분할 기반 환경 모델링의 과정을 살펴보면 그림 1과 같다. 먼저, 입력 영상을 환경의 특성에 따라 분할한다. 분할된 영상으로부터 환경 특성에 따른 깊이 계산 방법에 의해 깊이 영상을 획득한다. 다음으로, 깊이 영상을 이용하여 사각격자나 삼각형화에 의해 환경 모델을 만들고 입력영상을 환경 모델에 환경 매핑하여 최종적인 탐색 영상을 획득한다. 각 단계에 따른 구체적인 방법에 대해서는 다음 절에서 다루도록 하겠다.

3.1 영상 분할

일반적으로 가상 환경은 실내인 경우 바닥면과 천정으로 구성되고 실외인 경우 바닥면과 하늘의 형태로 구성되어 있다. 이러한 특징을 이용하여 환경맵을 바닥면, 천정(하늘), 주변 물체로 구분할 수 있다. 이렇게 구분된 환경맵을 분할하기 위해서는 영상 분할 방법이 필요하다. 영상 분할이란 영상 영역으로부터 공간 구성 요소에서 파생된 특징에 기반을 둔 균일성을 만족하는 하나나 그 이상의 연결된 부분을 추출하는 과정을 말한다. 영상 분할 방법은 크게 픽셀 기반 방법, 영역 기반 방법, 에지 기반 방법과 물리 기반 방법으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 가상 환경을 영상의 특징에 따라 분할하기 위해 영역 분할 방법[8]을 사용하였다.



a. 환경맵 b. 영상 분할

그림 2. 영역 기반 영상 분할

본 연구에서는 위에서 설명한 영역 분할 방법을 이용하여 일반 영상 및 환경맵을 바닥면, 천정(하늘)과 주변 물체들로 분할하였다. 분할된 영역에 다음절에 설명할 깊이 계산 방법을 이용하여 깊이 영상을 산출하였다. 그림 2는 환경맵을 영역 기반 분할 방법에 의해 바닥면, 천정, 주변물체들로 구분하여 나타낸 모습이다.

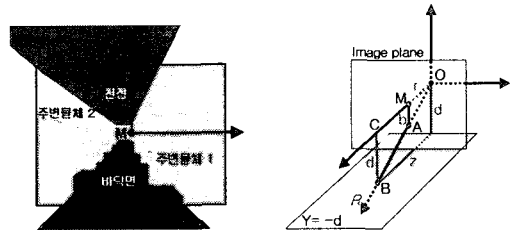
3.2 깊이값의 추출

영상에서부터 깊이 값을 계산하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 가정을 이용하여 획득하였다.

- 이미지 평면이 실세계 좌표계의 수평면과 수직이 되도록 영상을 획득한다.
- 바닥면(천정)은 실세계 좌표계에서 수평면에 평행한 평면으로 구성된다.
- 주변 물체들의 경우 일반적으로 바닥면(천정)에 수직인 평면으로 이루어진다.
- 실의 공간의 경우 하늘은 반구로 구성된다.

이러한 조건을 이용하여 영상으로부터 깊이값을 계산하기 위해서 두 단계의 과정이 필요하다. 첫 번째 단계에서는 바닥면과 천정에 대한 깊이값을 계산하고 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 구해진 깊이값을 바탕으로 주변 물체의 깊이값을 계산한다. 각 단계에 대하여 다음 절에서 자세히 설명하겠다.

3.2.1 바닥면(천정)의 깊이값 계산



a. 영상 좌표계 b. 실세계 좌표계

그림 3. 깊이값의 계산 (바닥면)

그림 3은 일반 영상을 사용하여 바닥면에 대한 깊이값을 계산하는 과정을 설명하고 있다. 바닥면에 대한 깊이값을 추출하기 위해 바닥면($Y=-d$)과 실세계 좌표의 원점으로부터 출발하여 이미지 평면의 한 픽셀을 지나는 광선 R 의 교차점을 이용한다. o 는 실세계 좌표계의 원점, b 는 중간점(m)으로부터 깊이값을 구할 픽셀까지의 거리, d 는 원점으로부터 바닥면까지의 거리, r 은 실세계 좌표계의 원점으로부터 이미지 평면까지의 거리를 말한다. 여기서 중간점(m)이란 일반 영상의 중간점을 말하는 것이 아니라

영상에서 바닥면으로 분할된 픽셀 중 최고 y값과 천정으로 분할된 픽셀 중 최저 y값을 평균한 점을 말한다. 실제 영상에서 바닥면과 천정으로 정확히 반으로 분할된 영상보다는 한쪽으로 치우친 영상이 많기 때문에 바닥면과 천정을 이분하는 보정 단계가 필요하다. 그림 3과 같이 두 삼각형의 관계에 의한 공식을 이용하면 다음과 같이 바닥면의 깊이값을 구할 수 있다.

$$Z = r \times \frac{d}{b} \quad (1)$$

바닥면의 깊이값은 영상의 중간점에서 가까운 부분에서는 깊이값의 변화가 크고 먼 부분에서는 깊이값의 변화가 작아지는 비선형적인 특성을 가지고 있다. 그러므로 중간점에서 가까운 부분에 대해 바닥면이 선형적인 변화를 갖도록 변환 행렬에 의한 깊이값 보정 단계가 필요하다.

3.2.2 주변 물체의 깊이값 계산

앞 절에서 주변 물체들은 바닥면이나 천정에 수직으로 구성된다고 가정하였다. 그러므로, 주변 물체의 깊이값을 구하기 위해서는 주변 물체가 어느 평면에 인접한지를 알아야한다. 이러한 인접 관계는 영상 분할 과정을 통해 얻을 수 있다.

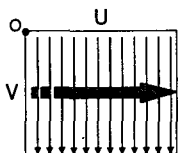


그림 4. 주변 물체의 깊이값 설정

주변 물체들의 깊이값을 구하기 위해 영상의 원점 (O)으로부터 V 방향으로 분할된 영상을 스캔한다 (그림 4). 바닥면에 인접한 주변물체의 경우 해당 V 방향에서 추출된 바닥면의 최고 깊이값을 설정한다. 천정에 인접한 주변 물체의 경우 추출된 천정의 최고 깊이값을 설정한다. 다음 깊이값 설정을 위해 U 방향으로 증가하여 앞의 과정을 반복한다. 이러한 과정을 통해 전체 영상의 깊이값을 계산할 수 있다.

앞 절에서의 가정만을 가지고는 세밀한 주변 물체의 깊이값을 구할 수 없다. 좀 더 세밀하게 주변 물체의 깊이 값을 구하기 위해서는 주변 물체를 보다 자세하게 분할하여야 한다. 이를 위해, 주변 물체는 바닥면(천정)에 수직한다는 조건이외에 추가적인 조건이 필요하다.

- 바닥면이나 천정과 주변 물체와의 관계
- 이미지 평면과 주변 물체와의 관계
- 주변 물체와 또 다른 주변 물체와의 관계

이러한 주변 관계를 고려하면 좀 더 세분화된 주변 물체의 깊이값을 구할 수 있다. 그림 5은 영상 분할을 통한 깊이값 추출 과정을 나타내고 있다. 그림 5-a와 같이 일반 영상을 바닥면, 천정, 주변 물체로 분할한다. 여기서는 주변 물체를 천정(빨간색), 바닥면(파란색)에 인접한 주변 물체(심홍색), 이미지 평면에 수평인 주변 물체(흰색)로 세분화하여 사용하였다. 그림 5-b와 같이 분할된 영상을 이용하여 위에서 설명한 깊이값 추출과정을 통해 그림 5-c와 같은 깊이 영상을 얻을 수 있다.

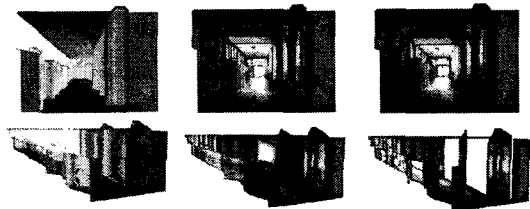


a. 일반 영상 b. 분할된 영상 c. 깊이 영상
그림 5. 영상 분할을 통한 깊이 영상 획득

3.3 환경 매핑

앞 절에서 구성된 3차원 환경 모델은 현실감있는 표현을 위해 렌더링 과정이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 렌더링을 위해 레이 캐스팅(텍셀 샘플링) 방법, 텍스처 매핑 방법과 포인트 샘플 렌더링 방법을 이용하여 환경 매핑을 적용하였다.

포인트 샘플 렌더링 방법은 렌더링시 가장 기본이 되는 단위를 삼각형이 아닌 점으로 사용하여 표현하는 방법을 말한다. 이 방법은 환경에 있는 점들을 삼각형화하지 않고 직접 점들만을 가지고 표현하기 때문에 손쉽게 환경을 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다.



a. 선구조형상 b. 텍스처 매핑 c. 포인트 렌더링
그림 6. 환경 모델의 환경 매핑

그림 6은 환경 모델을 텍스처 매핑 방법과 포인트 샘플 렌더링 방법으로 표현한 영상이다. 그림 6-b와 같이 텍스처 매핑 방법은 물체의 가리움(occlusion) 현상에 의해 보이지 않던 물체가 나타날 때 정보의

부족으로 인해 텍스처가 늘어나는 현상이 발생한다. 마찬가지로 포인트 샘플 렌더링 방법은 그림 6-c와 같이 정보의 부족으로 인한 구멍이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 다중 영상에 의한 환경 모델들을 구성하고 환경 모델들을 일치시켜 하나의 통합된 환경 모델을 구성하는 방법에 대한 향후 연구가 필요하다.

4. 구현 결과

본 연구에서는 실시간 렌더링을 위해 OpenGL을 사용하여 환경 매핑을 수행하였고 펜티엄 III 700MHz에서 구현하였다. 그림 7은 지금까지 설명한 영상 분할 방법에 의한 환경 모델링 방법과 환경 매핑 방법을 일반 영상에 적용하여 나타낸 흐름도를 보여주고 있다. 먼저 칼라 영상을 영역 기반 분할 방법에 의해 바닥면, 천정, 주변 물체들로 분할하고 분할된 영상을 깊이 계산 방법에 의해 깊이 영상을 얻어낸다. 이러한 깊이 영상에 의해 3차원 환경 모델을 구축하고 칼라 영상을 환경 매핑하여 표현한다. 구현 결과에서 볼 수 있듯이 영상 분할을 통해 손쉽게 환경 모델을 구성할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 현실감있는 탐색 영상을 실시간 렌더링하기 위해 영상에서 특징들을 이용하여 3차원 모델을 전처리 과정에서 생성하는 영상 분할 환경 모델링 방법을 제안하여 사용하였다. 이러한 분할 기반 환경 모델링 방법은 환경맵에 적용하기 용이하며 환경맵 분할에 따라 깊이값을 추출함으로써 손쉽게 환경 모델링이 가능하다. 이렇게 구성된 환경 모델을 이용하면 시점이 이동되고 시차를 갖는 환경 탐색 영상을 생성할 수 있다.

영상 분할 기반 환경 모델링 방법은 주변 환경을 바닥면, 천정(하늘), 주변 물체들로 분할하고 제한 조건들을 두어 영상에서 깊이값을 간단하게 계산하는 장점이 있으나 설정한 제한 조건으로 인해 카메라의 시선과 바닥면이 수평한 상태의 영상만을 사용할 수 있다. 범용적인 영상을 적용하기 위해서는 입력 영상들을 카메라와 바닥면의 관계에 따라 재구성하여야 한다. 또한, 수평면이나 수직면이 아닌 임의의 평면에 대해서도 깊이값 추출이 가능하도록 제한 조건을 일반화하는 연구가 필요하다.

또한, 분할 기반 환경 모델에 의해 구해진 3차원 환경 모델은 근사화에 의해 3차원 모델링이 되므로 정확하게 환경 모델들을 일치시키고 통합하기가 어렵다. 향후 연구로는 레인지 영상의 도움없이 영상만

을 사용하여 보다 정밀하게 구성된 3차원 환경 모델을 획득하기 위한 새로운 방법에 대한 연구가 필요하다.

[참고문헌]

- [1] Youichi Horry, Ken-Ichi Anjyo, Kiyoshi Arai, Tour Into the Picture: Using a Spidery Mesh Inter-face to Make Animation from a Single Image, SIGGRAPH '97, pp 225-232, 1997
- [2] A. Criminisi, I. Reid, A. Zisserman, "Single View Metrology," Int. J. of Computer Vision, v.40, n.2, pp. 123-148, 2000
- [3] P. Sturm and S. Maybank. A method for interactive 3d reconstruction of piecewise planar objects from single images. In British Machine Vision Conference, pages 265-274, 1999.
- [4] Byong Mok Oh, Max Chen, Julie Dorsey, Fredo Durand: Image-based modeling and photo editing. SIGGRAPH 2001: 433-442
- [5] L. Zhang, G. Dugas-Phocion, J.-S. Samson, and S. M. Seitz, "Single View Modeling of Free-Form Scenes", Proc. CVPR, 2001
- [6] Heung-Yeung Shum, Mei Han, Richard Szeliski. Interactive Construction of 3D Models from Panoramic Mosaics. CVPR, pp. 427-433, June 1998.
- [7] Leonard McMillan and Gary Bishop, Plenoptic modeling : An image-based rendering system. SIGGRAPH '95, pp 39-46,
- [8] E. N. Mortensen, L. J. Reese, and W. A. Barrett, Intelligent Selection Tools, IEEE Conference on CVPR '00, Vol. II, pp. 776-777, June 2000.

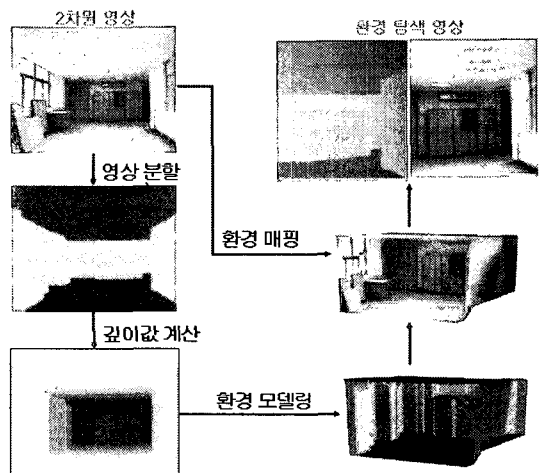


그림 7. 영상 분할에 의한 환경 모델링 및 환경 매핑