다중 영상으로부터 생성된 분할 기반 환경 모델들의 통합

류승택[†] · 윤경현[††]

요 약

본 논문은 현실감 있는 실시간 영상 기반 환경 탐색을 위해 영상 분할 기반 환경 모델링에 의한 시점 변경이 가능한 환경 탐색, 다중 환경 맵을 이용한 환경 모델의 통합 및 확장에 의한 환경 탐색 방법들을 제안한다. 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. 그러나, 환경 맵의 단일 해상도에 의해 발생하는 영상의 흐림 현상과 가리움에 의해 환경 맵에서 없는 정보가 나타날 시 발생하는 구성된 3차원 환경 모델의 늘어짐 현상이나 정보의 부족으로 인한 영상의 구멍이 발생한다. 이러한 문제를 제거하기 위해서는 다중 환경맵에 바탕을 둔 3차원 환경 모델의 재구성이 필요하다. 본 연구에서는 세밀한 환경 모델링을 통한 시차 표현과 주변 환경의 자유로운 확장을 위해 대응선 기반 환경 모델 통합 방법을 사용한다. 다중 환경맵에 의한 환경 모델링 방법은 최적의 해상도를 갖는 상세한 환경 모델을 생성할 수가 있어 시점이 자유로운 고화질의 탐색 영상 생성이 가능하다.

The Integration of Segmentation Based Environment Models from Multiple Images

Ryoo, Seung Taek[†] and Yoon, Kyung Hyun[††]

ABSTRACT

This paper introduces segmentation based environment modeling method and integration method using multiple environment map for constructing the realtime image-based panoramic navigation system. The segmentation-based environment modeling method is easy to implement on the environment map and can be used for environment modeling by extracting the depth value by the segmentation of the environment map. However, an environment model that is constructed using a single environment map has the problem of a blurring effect caused by the fixed resolution, and the stretching effect of the 3D model caused when information that does not exist on the environment map occurs due to the occlusion. In this paper, we suggest environment models integration method using multiple environment map to resolve the above problem. This method can express parallax effect and expand the environment model to express wide range of environment. The segmentation-based environment modeling method using multiple environment map can build a detail model with optimal resolution.

Key words: 영상기반렌더링, 3차원 재구성, 환경 매핑, 파노라마네비게이션

1. 서 론

가상 환경을 구축하여 자유롭게 주변 환경을 둘러보기 위해서는 두 가지의 문제에 직면하게 된다. 하나는 가상 환경을 현실 세계와 같이 사실적으로 표현해야한다는 것이고 다른 하나는 사용자와의 상호작용을 위해 렌더링을 실시간으로 처리해야한다는 것이다[1]. 이 두 문제는 전통적인 그래픽스 방법에 의한 모델링 및 렌더링 수행시 상충이 되어 두 가지 문제를 동시에 만족하도록 하기가 어렵다. 예를 들어

본 논문은 과학기술부 국가지정 연구소(2000-N-NL-01-C-285)의 지원으로 수행되었습니다.
접수일 : 2003년 2월 26일, 완료일 : 2003년 4월 30일
[†] 정회원, 중앙대학교 정보통신 연구원 연구 전담 교수
[††] 정회원, 중앙대학교 컴퓨터 공학과 교수

가상 환경의 영상의 질을 높이기 위해 자세하게 환경을 모델링을 하게 되면 사용된 많은 수의 폴리건으로 인해 렌더링을 실시간으로 처리하기 어렵다. 또한, 실세계의 자연현상을 표현하기 위해 사용된 시뮬레이션 알고리즘은 렌더링 수행시 많은 비용을 들이게 되어 실시간 렌더링을 어렵게 한다.

이러한 두 가지 문제를 동시에 해결하기 위해서는 전통적인 그래픽스 표현 기술이 아닌 영상 기반 표현 기술이 필요하다. 영상 기반 표현 기술이란 렌더링 비용이 많이 드는 3차원 기하 물체로 표현하는 대신 2차원 영상으로 대치하는 방법을 말한다. 영상 기반 표현 기술은 많은 수의 3차원 다각형들을 2차원 영상들로 대치함으로 렌더링을 실시간으로 수행할 수 있게 하며 또한 실세계 자연 현상을 표현하기 위해 고비용이 드는 시뮬레이션 알고리즘을 사용하여 렌더링할 필요 없이 실제 영상을 사용하여 표현함으로 보다 실세계와 같은 가상 환경을 구축할 수 있다는 장점을 가지고 있다[2].

영상 기반 환경 탐색을 위한 방법으로는 보간 및 픽셀 재투사를 이용한 렌더링 방법, 전통적인 모델 기반 렌더링 방법과 영상 기반 렌더링 방법을 혼합한 영상 기반 가속화 방법, 영상에서 특징들을 추출하여 3차원 모델을 생성하여 렌더링을 수행하는 영상 기반 모델링 방법이 있다. 이러한 방법들중 영상 기반 환경 탐색을 위해 기하 정보를 복원하여 환경을 모델링하여 탐색하는 영상 기반 모델링 방법이 활발히 연구되고 있다. 이 방법은 전처리 작업으로 환경을 표현하는 영상으로부터 기하 정보를 뽑아내어 환경을 구성하므로 실시간 렌더링 가능하다는 특징이 있다. 기하정보의 복원 중에 가장 많이 사용하는 것이 깊이 영상의 획득이다. 일반적으로 영상 일치 방법[3]으로 스테레오 영상을 이용한 대응점 방법[4,5]에 의해 깊이값을 추출하나 환경맵에 적용 시에는 다른 접근 방법이 필요하다.

최근에는 깊이 영상의 복원하는 과정 없이 환경을 표현하는 영상과 함께 레인지 영상(range image)을 이용하여 물체를 표현하거나 환경을 표현하는 방법을 연구하고 있다[6,7]. 레인지 파인더(rangefinder)를 이용하여 레인지 영상과 실사 영상을 동시에 획득하기도 하나 아직까지 레인지 영상과 매칭되는 고해상도의 영상을 얻기가 어렵다. 정확한 3차원 물체의 다각형화 된 모델을 얻기 위해 다중의 레인지 데이터들과 환경 영상들을 일치시키고 통합하는 방법에 대한 연구[8]를 하고 있으며 실제 물체 영상이 매핑된 고해상도의 3차원 모델을 얻기 위한 연구[9,10]도 진행되고 있다.

본 연구의 목적은 환경을 표현하는 영상들의 조합으로부터 현실감있고 시점의 이동이 자유로운 환경 탐색을 실시간 렌더링하는데 있다. 이를 위해 영상 분할을 통한 깊이 영상 획득 방법을 제안하여 환경 모델을 구성하였다. 또한 다중 환경 모델의 일치와 통합을 이용하여 환경 모델의 확장할 수 있도록 하였다.

2. 관련 연구 (3차원 재구성)

본 연구에서는 하나의 사물에 촛점을 맞추어 모델링(Object Modeling)하기보다는 전체 주변 환경을 표현하기 위해 경관 모델링(Scene Modeling)에 중점을 둔 분할 기반 환경 모델링 방법을 사용하였다. 환경을 모델링하는 방법은 영상 특징의 종류에 따라, 사용한 영상의 개수에 따라, 사용한 영상의 특성에 따라 나눌 수 있다.

영상 특징은 점이나 선들과 같은 저 수준 영상 특징과 평면이나 블록들과 같은 고 수준 프리미티브로 나눌 수 있다. 저 수준 영상 특징들을 이용한 방법[11,12] 들은 영상의 유사도가 큰 영상들로부터 자동으로 3차원 모델을 복원한다. 그러나, 점과 선들 복원하기 위한 많은 수의 관계식을 필요로 하기 때문에 점과 선들의 영상 특징 매칭 알고리즘의 정확성에 매우 의존적이다. 또한, 동질 영역이 넓게 분포하거나 같은 패턴이 여러 번 반복되는 영상은 영상의 모호성으로 인해 3차원 재구성하기 어렵다. 다양한 종류의 프리미티브를 이용한 방법[13-15]들은 일련의 장면으로부터 사용자의 상호작용에 의해 3차원 모델을 재구성한다. 이 방법은 제공되는 프리미티브만을 이용하여 모델링이 가능하기 때문에 상세한 환경을 모델링할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 두 방법의 문제를 해결하기 위해 고 수준과 저 수준의 중간 단계의 영상 특징인 평면을 이용하는 방법을 사용하였다. 이러한 평면의 특성(수평|수직)을 이용하므로써 환경을 탐색하기에 적합한 상세한 환경 모델을 구성할 수 있다.

환경에 대한 정보를 유추해 낼 수 있다면 한 장의 영상으로부터 환경 모델링이 가능하다. 이러한 방법으로는 환경에 대한 정보를 소실점(Vanishing Point)과 소실선(Vanishing Line)에 의해 재구성하는 방법

[16-18], 상호작용에 의한 영상 편집 방법[19,20]등이 있다. 첫 번째 방법은 소실점을 이용하여 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.[16,17,19]에서는 영상 특징들의 깊이값을 설정하기 위해 참조 평면을 이용하였다. [16]에서는 스파이더 메쉬로 구성된 평면을 참조하여 스프라이트의 깊이값을 설정하였고[17]에서는 참조 평면과 평행한 평면과 소실점의 관계에 따라 거리를 계산하였다.[19]에서는 바닥 평면 툴과 수직 툴을 사용하여 참조평면에서의 위치값을 설정할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 보다 상세한 모델을 구하기 위해 평면의 수직/수평을 이용한 방법을 사용하였다. 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.

본 연구에서는 일반 영상 뿐만 아니라 파노라마 영상을 이용하여 3차원 환경을 재구성할 수 있는 방법을 개발하였다. 파노라마 영상을 이용하여 환경을 모델링하는 방법들에는 소실점을 이용한 방법[15, 21,22]과 다중 환경맵을 이용하여 상호 관계를 설정하는 방법[23,24]등이 있다. 첫 번째 방법은 앞에서 설명하였듯이 소실점을 이용하여 환경을 모델링하므로 상세한 환경 모델을 얻기 힘들다. 두번째 방법은 여러 장의 환경맵이 필요하며 관계 설정을 위해 많은 비용이 드는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 **환경맵의 영상 분할을 통해 영상의 개수(한장|여러장)와 영상의 종류(일반영상|환경맵)에 의존하지 않고 환경을 모델링할 수 있는 영상 분할 기반 모델링 방법을 제안**하였다. 분할 기반 환경 모델링의 특성에 대해서는 다음 장에서 알아보기로 하자.

3. 영상 분할 기반 모델링

가상환경을 자유롭게 탐색하기 위해서는 깊이값을 이용한 모델 구성이 필요하다. 이러한 환경 모델을 구성하기 위해서는 획득된 일반 영상이나 환경맵으로부터 깊이값의 추출이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 영상 분할을 통해 획득된 깊이 영상에 의한 환경 모델링 방법을 제안한다. 영상 분할 기반 환경 모델링의 과정을 살펴보면 그림 1과 같다. 먼저, 입력 영상을 색상에 따라 영역 기반 분할 방법을 이용하여 바닥면, 천정(하늘), 주변 물체들로 나눈다(3.1). 분할된 영상으로부터 제한 조건을 이용한 깊이 계산 방법에 의해 깊이 영상을 획득한다(3.2). 다음으로, 깊이 영상을 이용하여 사각격자나 삼각형화에 의해 환경 모델을 만들고 입력 영상을 환경 모델에 환경 매핑하여 최종적인 탐색 영상을 획득한다(3.3). 각 단계에 따른 구체적인 방법에 대해서는 다음 절에서 다루도록 하겠다.

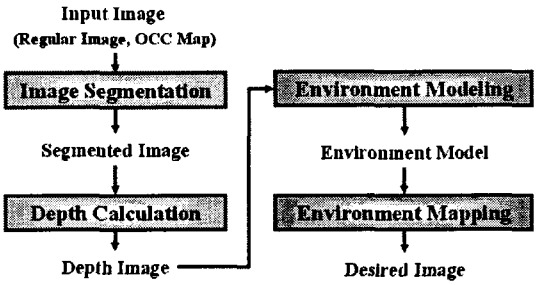
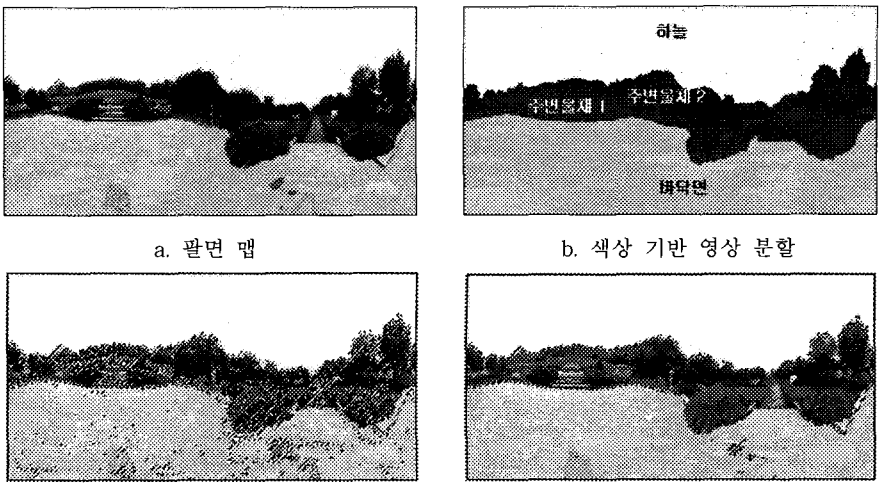


그림 1. 영상 분할 기반 모델링의 구성도

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[25]. 본 논문에서는 환경 맵을 영상의 특징에 따라 분할하기 위해 영역 분할 방법[26]을 사용하였다.

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 팔면맵[27]을 영역 기반 분할 방법에 의해 바닥면, 하늘, 주변물체들로 구분하여



a. 팔면 맵 b. 색상 기반 영상 분할

c. 영역 분리 d. 영역 병합

그림 2. 영역 기반 영상 분할

나타낸 모습이다. 그림 2-c는 영상을 단일성(uniformity)을 만족하도록 픽셀들의 연결된 집합으로 영역을 분리한 모습을 나타내고 그림 2-d는 이렇게 분리된 영역을 요구하는 부분으로 영역 병합한 모습을 표현하고 있다.

3.2 깊이값의 추출

환경을 자유롭게 탐색하기 위해서는 환경 정보를 이용한 환경 모델링이 필요하다. 환경 모델은 이차원 영상과 이에 대한 깊이 영상을 이용하여 구성된다. 본 연구에서는 깊이 영상을 구하기 위해 영상 분할된 환경맵에 다음과 같은 제한 조건을 사용하였다.

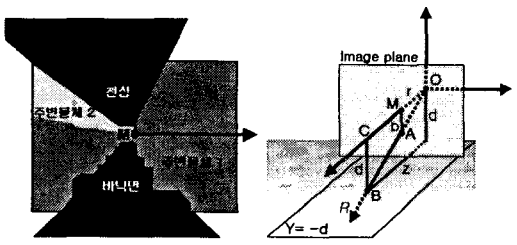
- 이미지 평면이 실세계 좌표계의 수평면과 수직이 되도록 영상을 획득한다.
- 바닥면(천정)은 실세계 좌표계에서 수평면에 평행한 평면으로 구성된다.
- 실외 공간의 경우 하늘은 반구로 구성된다.
- 바닥면(천정)에 인접한 주변 물체들의 경우 일반적으로 바닥면(천정)에 수직인 평면으로 이루어진다.

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 기반으로 주변 물체의 깊이값을 계산한다. 각 단계에 대하여 다음 절에서 자세히 설명하겠다.

3.2.1 바닥면(천정)의 깊이값 계산

그림 3은 일반 영상을 사용하여 바닥면에 대한 깊이값을 계산하는 과정을 설명하고 있다. 그림 3-a는 영상 좌표계에서 바라본 분할된 영상과 환경 모델을 나타내고 있으며 그림 3-b는 실세계 좌표계를 기준으로 바닥면으로 분할된 영역의 깊이값을 구하는 과정을 나타내고 있다. 바닥면에 대한 깊이값을 추출하기 위해 바닥면(Y=-d)과 광선 R의 교차점을 이용한다. 광선(ray) **R**은 실세계 좌표의 원점(**O**)으로부터 출발하여 이미지 평면의 임의의 한 픽셀을 지나는 직선(straight line)을 말한다. 바닥면으로 분할된 영역의 픽셀(**A**)의 깊이값은 광선 **R**($\overline{OA}$)과 바닥면이 만나는 교차점(**B**)의 **Z**값을 구하면 된다. 이를 위해 그림 3-b와 같이 삼각형 $\triangle OAM$과 삼각형 $\triangle OBC$의 관계를 이용하면 다음과 같이 바닥면의 깊이값을 구할 수 있다.

$$z = r \times \frac{d}{b} \qquad \text{(수식 1)}$$



(a) 영상 좌표계 (b) 실세계 좌표계

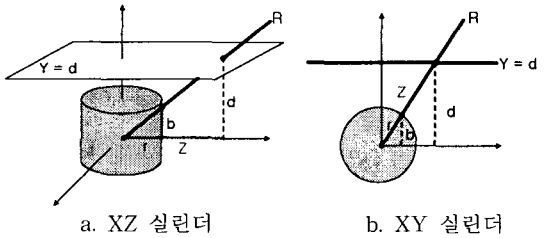
그림 3. 깊이값의 계산 (바닥면)

O는 실세계 좌표계의 원점을 말하고 **M**은 입력 영상의 중간점을 말한다. 여기서 중간점(**M**)이란 영상의 가운데점을 말하는 것이 아니라 영상에서 바닥면으로 분할된 픽셀 중 최고 y값과 천정으로 분할된 픽셀 중 최저 y값을 평균한 점을 말한다. 이렇게 중간점(**M**)을 보정하는 이유는 실제 영상에서 바닥면과 천정으로 정확히 반으로 분할된 영상보다는 한쪽으로 치우친 영상이 많기 때문이다. 또한, b는 중간점(**M**)으로부터 깊이값을 구할 픽셀(**A**)까지의 거리, a는 원점(**O**)으로부터 바닥면까지의 거리, r은 실세계 좌표계의 원점(**O**)으로부터 이미지 평면까지의 거리, 즉 초점거리(focal length)를 말한다. 본 연구에서는 상대적인 깊이값(**z**)를 구하기 위해 바닥면까지의 거리(**d**)를 사용자 입력으로 설정하였다. 위의 과정을 반복하여 적용하여 이미지 평면중 바닥면이나 천정으로 분할된 영역의 깊이값을 계산한다.

다음으로 환경 맵(OCC 맵[27])으로부터 깊이값을 추출하는 과정을 알아보자. *OCC* 맵으로부터 바닥면과 천정으로부터 깊이값을 추출하는 과정을 보면 그림 4와 같다. XZ 평면에 평행한 평면(바닥면|천정면)과 환경맵 상의 한점이 매핑되는 실제 3차원 좌표를 지나는 광선(**R**)과의 교차점 테스트에 의해 깊이값을 구할 수 있다. OCC 맵을 이용하여 깊이값을 구하기 위해서는 XZ 실린더와 광선(그림 4-a), XY 실린더와 광선(그림 4-b)과의 관계를 고려해야한다. 실린더의 반지름(r), XZ 평면의 높이값(a), 실린더상의 한점의 y 좌표값(b)를 이용하여 삼각형의 공식(Similar Triangle)에 의해 구하면 다음과 같은 수식을 유도할 수 있다.

$$Z = r \times \frac{d}{b} \quad \text{(수식 2)}$$

수식 2는 일반 영상에서 구한 깊이값 계산식과 유사함을 알 수 있다. 그러므로 윗 수식을 이용하면 분할된 일반 영상과 환경맵에서의 바닥면 및 천정의 깊이값을 추출할 수 있다. 바닥면의 깊이값은 영상의 중간점에서 먼 부분에서는 깊이값의 변화가 작고 가까운 부분에서는 깊이값이 크게 변화하는 비 선형적인 특성을 가지고 있다. 이를 해결하기위해 중간점에서 가까운 부분에서도 바닥면이 선형적인 변화를 갖도록 하는 변환 행렬의 깊이값 보정 단계에 대한 향후 연구가 필요하다.



a. XZ 실린더 b. XY 실린더

그림 4. 바닥면 및 천정과 OCC와의 관계에 의한 깊이 계산

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.

주변 물체들의 깊이값을 구하기 위해 영상의 원점(O)으로부터 V 방향으로 분할된 영상을 스캔한다(그림 5). 바닥면에 인접한 주변 물체의 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.

이러한 주변 관계를 고려하면 좀 더 세분화된 주변 물체의 깊이값을 구할 수 있다. 그림 6은 영상 분

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

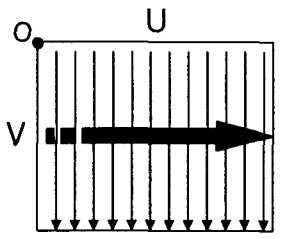
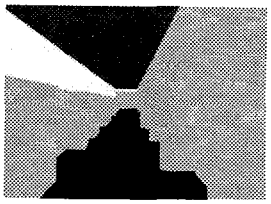


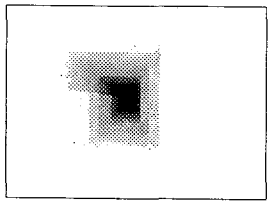
그림 5. 주변 물체의 깊이값 설정

할을 통한 깊이값 추출 과정을 나타내고 있다. 그림 6-a와 같이 일반 영상을 바닥면, 천정, 주변 물체로 분할한다. 여기서는 주변 물체를 바닥면(blue)에 인접한 주변 물체(magenta), 천정(red)에 인접한 주변 물체(yellow), 이미지 평면에 수평인 주변 물체(white)로 세분화하여 사용하였다. 그림 6-b와 같이 분할된 영상을 이용하여 위에서 설명한 깊이값 추출 과정을 통해 그림 6-c와 같은 깊이 영상을 얻을 수 있다.

a. 일반 영상



b. 분할된 영상



c. 깊이 영상

그림 6. 영상 분할을 통한 깊이 영상 획득 (공대복도)

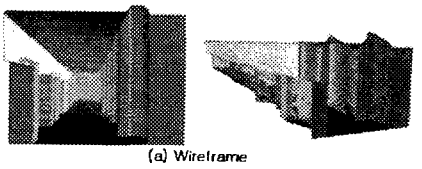
3.3 환경 매핑

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

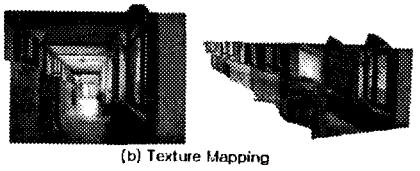
레이 캐스팅 방법은 화면을 표현하기 위해 화면상의 하나의 스크린 픽셀 값을 환경맵으로부터 직접 샘플링하는 방법을 말한다. 본 연구에서는 사용한 샘플링 방법으로 포인트 샘플링 방법과 이중 선형보간 방법을 사용하였다. 텍스춰 매핑 방법은 실제 환경 모델을 구성하는 삼각형들의 각 3차원 점들에 환경맵에서 해당하는 텍셀을 설정하여 각 삼각형에 해당 텍스춰를 매핑하는 방법을 말한다. 본 연구에서는 OpenGL을 이용하여 환경맵을 3차원 환경 모델에 매핑하였다. 마지막으로 포인트 샘플 렌더링 방법은 렌더링시 가장 기본이 되는 단위를 삼각형이 아닌 점으로 사용하여 표현하는 방법을 말한다[28-31]. 이 방법은 환경에 있는 점들을 삼각형화하지 않고 직접 점들만을 가지고 표현하기 때문에 손쉽게 환경을 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 7은 환경 모델을 텍스춰 매핑 방법과 포인트 샘플 렌더링 방법으로 표현한 영상이다. 그림 7-b와 같이 텍스춰 매핑 방법은 물체의 가리움(occlusion) 현상에 의해 보이지 않던 물체가 나타날 때 정보의 부족으로 인해 텍스춰가 늘어나는 현상(stretching effect)이 발생한다. 마찬가지로 포인트 샘플 렌더링 방법은 그림 7-c와 같이 정보의 부족으로 인한 구멍이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 다중 영상에 의한 환경 모델들을 구성하고 환경 모델들을 일치(registration)시켜 하나의 통합(integration)된 환경 모델을 구성하는 방법이 필요하다. 여기에 대한 자세한 설명은 다음 장에서 다루도록 하겠다.

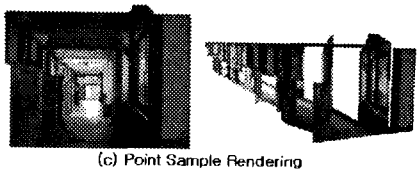
그림 8은 분할 기반 모델링 방법을 일반 영상에 적용한 모습을 보여주고 있다. 위줄의 영상은 경회루



(a) Wireframe

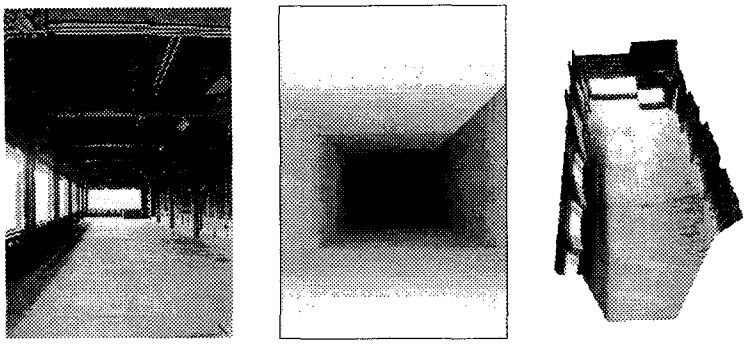


(b) Texture Mapping

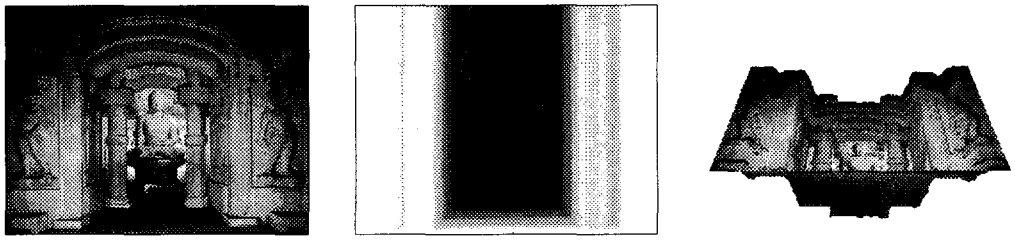


(c) Point Sample Rendering

그림 7. 환경 모델의 환경 매핑



a. 경회루 모델 (실내환경)



b. 설굴암 모델

그림 8. 영상 분할을 통한 깊이 영상 획득 (일반영상)

의 내부 이미지에 분할 기반 모델링 방법을 적용하여 획득된 깊이 영상과 이를 통해 생성된 3차원 경회루 모델의 윗면도를 보여주고 있고 아래줄은 설굴암 이미지와 깊이 영상을 통해 생성된 설굴암의 모습을 보여주고 있다. 그림 9는 실외 영상을 표현하고 있는 환경맵(OCC 맵)을 분할 기반 모델링 방법에 적용하는 과정을 보여주고 있다. 실외 환경의 경우, 천정의 특징에 따라 깊이값을 구하는 대신 하늘(하늘은 반구로 구성된다)의 특징에 따라 깊이값을 구하는 방법을 사용하고 나머지 적용 방법은 실내 환경 생성

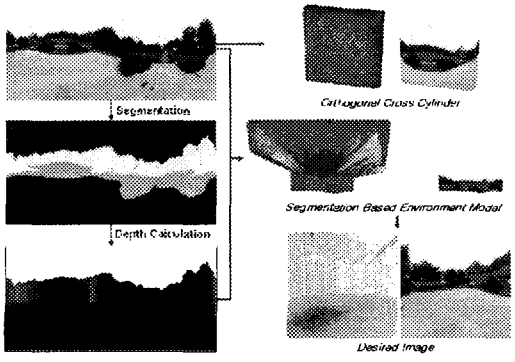


그림 9. 영상 분할에 의한 깊이값 추출 및 환경 모델링 (실외환경 / OCC 맵)

방법과 동일하다. 설명된 그림들에서 볼 수 있듯이 영상 분할을 통해 쉽게 3차원 환경 모델을 구성할 수 있음을 알 수 있다.

4. 다중 환경맵에 의한 환경 탐색

단일 환경맵에 의해 구성된 3차원 모델은 환경맵의 단일 해상도에 의해 발생하는 영상의 흐림 현상과 가리움에 의해 환경맵에서 없는 정보가 나타날 시 발생하는 구성된 3차원 모델의 늘어짐 현상이 발생한다. 이러한 문제를 제거하기 위해서는 다중 환경맵에 바탕을 둔 3차원 환경 모델의 구성이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 대응선에 기반을 둔 환경 모델 구성 및 환경 매핑 방법을 제안한다. 그림 10은 다중 환경 모델을 통합하는 과정을 나타내고 있다. 먼저, 획득된 다중 환경맵들을 3장에서 설명한 방법으로 각각 3차원 환경 모델들로 구성한다. 다음 단계로는 통합할 각 환경맵으로부터 대응점을 설정하고 각각 로컬 좌표계를 중심으로 구성된 환경 모델을 설정된 대응점을 바탕으로 실세계 좌표계로 변환(이동, 회전, 크기변환)하여 각각의 3차원 환경 모델들을 일치시키도록 한다. 이렇게 획득된 환경 모델들에서 상세한 환경 모델을 획득하기

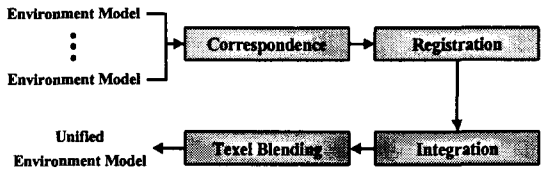


그림 10. 다중 환경 모델의 통합 과정

위해 대응선을 기반으로 하는 환경 모델 분할 방법에 의해 환경 모델을 통합한다. 마지막으로 통합된 환경맵에 나타나는 텍스춰의 불일치 현상을 해결하기 위해 각 환경맵으로부터 텍셀값을 혼합하여 환경맵에 재생성하여 탐색 영상을 획득한다. 각 단계에 대한 자세한 방법에 대해서는 다음 절에서 자세히 다루도록 하겠다.

4.1 두 모델 좌표계의 일치

대응점들을 이용하여 두 좌표계사이의 관계를 결정하는 것을 완전 무결한 방향성(absolute orientation) 문제라고 한다. 즉, 두 좌표계 사이의 견고한 몸체 변환(rigid body transformation: 회전, 이동)을 계산하는 방법을 말한다. 이러한 방법은 특징의 종류에 따라, 특징점의 개수에 따라, 일반적인 해결 방법에 따라 여러 가지 분류로 나뉜다. 특징들의 종류로는 점, 선, 평면 등이 있으나 실용적으로는 점들을 대부분 사용한다.

완전 무결한 방향성을 얻는 해결 방법은 특징점의 개수에 따라 한정 방법(determined solution)과 한정 초과 방법(over-determined solution)으로 나뉠 수 있다[32]. 한정 방법은 해를 구하기에 필요로 되는 유한의 대응점(세 쌍)만을 이용하여 두 좌표 관계를 단일 해로 풀어 가는 방법이다. 이에 비해 한정 초과 방법은 수식 3과 같이 여러 개의 대응점들을 이용하여 여러 개의 해를 구하고 그 중 오차가 가장 적은 해를 구해 가는 방법이다. 수식 3에서 a_i와 b_i는 대응되는 대응점을 말하고 n은 대응점의 개수를 말한다. 또한, M은 변환 행렬, T는 이동 변환, R은 회전 변환, s는 크기변환을 나타낸다.

$$E = \sum_{i=1}^{n} ||b_i - Ma_i||^2 = \sum_{i=1}^{n} ||b_i - sR(a_i) - T||^2 \quad \text{(수식 3)}$$

본 연구에서는 두 환경 모델을 하나의 좌표계로 일치시키기 위한 방법으로 한정 방법을 이용한 좌표계 일치 방법을 사용하였다. 이를 계산하기 위한 좌표계 변환 방법과 직교 노말을 이용한 좌표계 일치 방법을 이용하였다[33]. 이 방법은 변환할 좌표계를 설정하기 위해서는 세 개의 3차원 점이나 하나의 3차원 점과 두 개의 벡터를 필요로 하나 두 환경 모델이 특정 평면(바닥면 이나 천정)을 공유한다는 특성을 이용하여 2차원 좌표계의 변환으로 단순화하여 사용하였다. 이에 대한 설명을 위해 먼저 임의의 두좌표계의 일치방법에 대해 알아보고 영상 분할 기반 환경 모델의 일치에 대해 설명하도록 하겠다.

4.1.1 임의의 두 좌표계의 일치

각 로컬 좌표계에 의한 3차원 모델 좌표를 X_a와 X_b, 실세계 좌표를 X_w라 하고 행렬 M_a는 실세계 좌표 X_w를 모델 좌표 X_a로 변환하는 행렬식이고, 행렬 M_b는 실세계 좌표 X_w를 모델 좌표 X_b로 변환하는 행렬식이라고 하면 다음과 같은 수식이 성립된다.

$$X_a = M_a X_w = R_a T_a X_w$$
$$X_b = M_b X_w = R_b T_b X_w \quad \text{(수식 4)}$$

이렇게 설정한 두 모델을 일치시키기 위해서는 대응점이 필요하다. 모델 A와 모델 B의 대응점 P, Q라 하면 $M_a P$에 의해 나온 결과값 X_a와 $M_b Q$에 의해 나온 결과값 X_b가 서로 같아야만 한다. 이를 이용하여 다음과 같은 수식을 유도할 수 있다.

$$M_a P = M_b Q \quad P = M_a^{-1} M_b Q = MQ \quad \text{(수식 5)}$$

위 수식은 변환 행렬 M에 의해 모델 B를 모델 A에 일치시키는 과정을 나타내고 있다. 이 수식을 수식 3을 이용하여 전개하면 두 모델을 일치시키는 변환 행렬 M을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M = M_a^{-1} M_b = T_a^{-1} R_a^{-1} R_b T_b = T_a^{-1} R_a^T R_b T_b \quad \text{(수식 6)}$$

두 모델의 좌표계의 변환식 M을 구하기 위해서는 행렬 T_a, T_b, R_a와 R_b에 대한 계산값이 필요로 된다. 이러한 행렬의 값은 좌표계 변환 방법[33]을 통해 구해 질 수 있다. 즉, 각 모델에서 3개의 대응점을 잡고 이를 이용하여 이동 벡터값과 UVN 벡터값을 구하여 수식 6에 대입하면 행렬 M의 값을 다음과

같이 구할 수 있다.

$$M=\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_{ax} \\ 0 & 1 & 0 & t_{ay} \\ 0 & 0 & 1 & t_{az} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} u_{ax} & v_{ax} & n_{ax} & 0 \\ u_{ay} & v_{ay} & n_{ay} & 0 \\ u_{az} & v_{az} & n_{az} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} u_{bx} & u_{by} & u_{bz} & 0 \\ v_{bx} & v_{by} & v_{bz} & 0 \\ n_{bx} & n_{by} & n_{bz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -t_{bx} \\ 0 & 1 & 0 & -t_{by} \\ 0 & 0 & 1 & -t_{bz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(수식 7)

4.1.2 영상 분할 기반 환경 모델의 일치

각 영상은 앞장에서 설명한 방법에 의해 바닥면, 천정, 주변 물체들로 분할된다. 같은 환경 공간을 시점이 서로 다른 곳에서 바라본 영상에 의해 획득된 3차원 환경 모델들은 다음과 같은 특징이 있음을 알 수 있다.

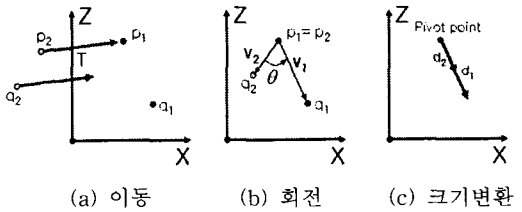
각 환경 모델의 바닥면(천정)을 구성하는 평면의 방정식이 서로 같다.

이러한 특성을 이용하면 3차원 좌표계의 일치를 2차원 좌표계의 일치로 단순화할 수 있다. 즉, 구성된 환경 모델들은 바닥면과 천정을 이루는 평면을 공유하기 때문에 Y축에 대해서만 회전을 고려하면 각 환경 모델들을 쉽게 일치시킬 수 있다.

3차원 좌표축의 일치를 위해서는 세 개의 대응점이 필요하나 본 연구에서는 2차원 좌표축으로 단순화된 환경 모델의 일치를 위해 두 개의 대응점만을 사용하였다. 또한, 각 대응점들을 사용자의 상호 작용에 의해 바닥면(천정)에서만 설정하도록 하였다. 왜냐하면 이렇게 설정된 대응점들의 높이값이 서로 같기 때문에 정확한 2차원 변환값을 얻을 수 있기 때문이다. 설정된 대응점들을 이용하여 이동, 회전, 크기변환 값을 구하는 과정은 그림 11과 같다.

획득된 환경 모델 E_1,E_2가 있을 때 환경맵상의 대응점들을 이용하여 구성한 3차원 대응점들을 (p_1, p_2), (q_1, q_2)이라 하고 두 개의 3차원 점에 의해 구성된 벡터를 v_1, v_2라고 하자. 먼저, 두 모델을 일치시키기 위해 환경 모델 E_2를 환경 모델 E_1으로 이동한다. 본 연구에서는 첫 번째 대응점을 일치시키도록 그림 11-a와 같이 $T(=p_1-p_2)$ 만큼 환경 모델 E_2를 이동시킨다. 다음으로 두 번째 대응점에 의해 구성된 두 벡터 v_1과 v_2의 사이각 θ을 구하여 환경 모델 E_2를 회전시킨다(그림 11-b). 사이각 θ은 v_1과 v_2의 내적을 통해 구할 수 있으며 회전각을 적용시 p_1을 회전축의 점(pivot point)으로 설정하여 환경 모델을 회전시킨다. 이렇게 변환된 환경 모델 E_2는 두 번째 대응점이 일치하지 않아 여전히 환경 모델의 크기에 대한 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 11-c와 같이 두벡터의 크기값 d_1, d_2를 구하여 $\frac{d_1}{d_2}$ 만큼 환경 모델 E_2를 크기 변환하여준다. 일반적인 크기 변환은 두 좌표축을 기준으로 크기 변환이 적용되므로 p_1을 크기 변환의 점(pivot point)으로 하고 크기변환의 방향을 벡터 v_1의 방향으로 설정하여 크기 변환을 적용해야 한다. 이러한 과정을 통해 환경 모델들을 하나의 환경 모델로 일치시킬 수 있다. 또한, 추가적으로 다른 환경 모델들을 일치시키기 위해서는 추가 입력영상과 선택된 입력영상으로부터 다시 두 개의 대응점을 설정하고 구해진 좌표계 일치식을 이용하여 기준 좌표계로 환경 모델을 일치시키는 과정을 반복 적용한다.

그림 12는 두 개의 대응점을 이용하여 3차원 환경 모델들을 일치하는 과정을 나타내고 있다. 그림 12-a는 환경 모델을 생성한 칼라 영상으로부터 두 개의 대응점 설정하는 모습을 보여주고 있다. 점선은 첫 번째 대응점과 두 번째 대응점에 의해 생성한 벡터 l_a, l_b를 나타낸다. 그림 12-b는 그림 12-a의 좌측 영상에 의해 생성된 환경 모델 E_a(파란색 선구조 형



(a) 이동 (b) 회전 (c) 크기변환

그림 11. 2차원 좌표계의 일치

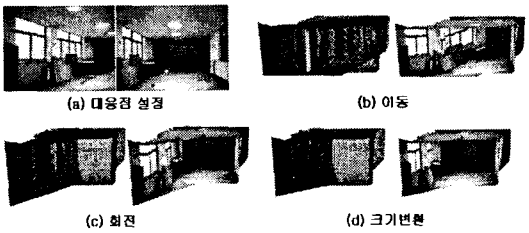


그림 12. 대응점을 이용한 환경 모델의 일치

상)을 그림 12-a의 우측 영상에 의해 생성된 환경 모델 E_b(노란색 선구조 형상)으로 (146.05, 0, -32.33) 만큼 이동한 모습을 보여주고 있다. 그림 12-c는 환경 모델 E_a를 일치된 첫 번째 대응점을 기준으로 Y축으로 반시계방향으로 40.37° 회전한 후의 환경 모델들을 나타낸다. 그림 12-d는 회전 변환된 환경 모델 E_a를 첫 번째 대응점을 기준으로 벡터 l_b의 방향으로 0.64만큼 크기 변환한 후에 일치된 두 환경 모델을 보여준다. 두 개의 대응점만을 가지고 모델의 이동, 회전과 크기변환 과정을 통해 근사화하여 환경 모델들이 서로 일치되는 것을 알 수 있다.

4.2 환경 모델의 통합(Integration)

일치된 환경 모델은 서로 중복되는 환경에 대한 자료를 포함하고 있다. 이러한 불필요한 데이터는 통합 과정을 통해 제거되어야한다. 모델들을 통합하는 방법은 구조화 방법과 비구조화 방법으로 나눌 수 있다. 비구조화 방법에서는 재구성될 평면 위의 점사이의 관계와 같은 토포로지(topology)가 주어지지 않는다. 점들의 집합은 단지 연결되지 않은 점들의 무리로서 간주된다. 구조화 방법은 내부적인 인접 정보를 이용하여 모델의 통합이 비구조화 방법보다 더 단순하다. 일반적으로 깊이 영상을 이용하여 다각형화하여 모델을 표현한다. 교차된 다각형은 잘리워지고 중복되거나 작은 다각형은 제거하는 것에 의해 통합과정을 수행한다.[34]에서는 물체의 특성을 잘 나타내는 연속적인 곡면을 획득하기 위해 이웃하는 곡면을 연결하는 메쉬 지퍼링(mesh zippering)방법을 사용하였다.[35]은 획득된 깊이 영상을 이용하여 구성된 3차원 볼륨 모델을 깍아가는 방법을 사용하였다. 최근에는 환경 모델 정보뿐만 아니라 환경 매핑에 사용되는 텍스춰 정보를 사용하여 모델을 통합하는 방법이 소개되고 있다[9,10]. 본 연구에서는 환경 모델의 통합을 위해 대응선을 기반을 둔 분할평면을 이용하여 환경 모델을 분할하고 통합하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 물건을 조립하는 것과 같이 원하는 부분을 직접 골라 붙이도록 하여 손쉽게 환경 모델을 통합할 수 있다.

4.2.1 영상 분할 기반 환경 모델의 통합

대응점을 바탕으로 두 개의 환경 모델을 일치시켰으므로 두 대응점을 연결한 대응선에 가까운 다각형들은 서로 정확히 일치하나 대응선에서 멀어질수록 두 환경 모델의 다각형들의 오차(offset)가 커짐을 알 수 있다. 이러한 특징 때문에 중복된 환경을 두 환경 모델의 다각형 비교분석을 통해 제거하기가 어렵다. 본 연구에서는 대응선과 환경 모델사이의 이러한 특징을 이용하여 두 환경 모델을 통합하였다. 즉, 대응선을 기반으로 생성된 평면에 의해 환경 모델을 두 개의 하위 모델로 분할하고 분할된 하위 모델중 환경의 중복이 적은 하위 모델을 선택하고 각각 선택된 하위 모델들을 병합하여 하나의 통합된 환경 모델로 구성하였다.

그림 13은 대응선에 의해 분할 평면을 구성하는 과정을 나타내고 있다. 먼저, 대응선 V와 벡터 Up의 외적에 의해 분할 평면의 노말 N을 구한다. Up 벡터는 실세계 좌표 공간에서 Y축을 나타내므로 벡터 (0, 1, 0)을 의미한다. 분할된 하위 모델의 선택을 위해서 외적의 순서가 중요하다. 외적의 순서에 따라 분할된 하위 모델의 선택과정이 바뀌므로 중복이 적은 모델의 결정을 고려하여 외적을 수행하여야 한다. 평면 위의 한 점인 대응점 p와 노말 N을 이용하여 다음과 같은 수식으로 평면의 방정식을 나타낼 수 있다.

$$P = N_x x + N_y y + N_z z - N_x p_x - N_y p_y - N_z p_z = 0 \quad \text{(수식 8)}$$

이 평면의 수식을 이용하여 분할 평면 $P \geq 0$인 환경 영역은 하위 모델로 선택하고 $P < 0$인 환경 영역은 환경 모델로부터 제거하고 각 환경 모델의 하위 모델들을 병합하면 하나의 통합된 환경 모델을 구성할 수 있다.

그림 14는 분할 평면에 의한 환경 모델의 분할 및 통합 과정을 보여주고 있다. 그림 14-a는 대응선에 의해 생성된 분할 평면의 노말을 이용하여 분할할 영역을 선택하는 과정을 나타낸다. 각 점선은 분할 평면과 환경 모델이 서로 교차하는 교차점을 말하고

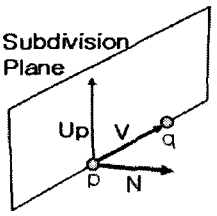
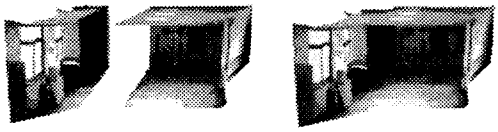


그림 13. 분할 평면

화살표의 방향은 각 분할 평면의 노말의 방향을 의미하며 이 방향에 따라 선택될 하위 모델을 결정한다. 그림 14-b는 각 분할 평면에 의해 잘리워진 환경 모델들을 보여주고 있으며 그림 14-c는 분할된 하위 모델을 병합하여 하나의 환경 모델을 구성한 모습을 나타내고 있다.

(a) 분할 평면에 의한 환경 모델 분할

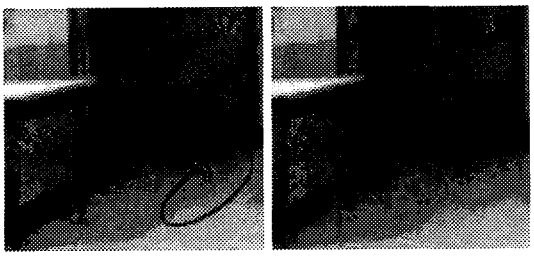


(b) 분할된 하위 모델 선택 (c) 하위 모델 통합

그림 14. 분할 평면에 의한 환경 모델의 분할 및 통합

4.3 통합된 환경 모델의 텍셀 블랜딩

두 개의 환경 모델을 통합하는 과정에서 생성된 모델은 연결부분에서 그림 15-a와 같이 환경맵의 불일치로 인해 이음새가 나타나는 문제점을 가지고 있다. 이러한 이음새를 제거하기 위해서는 두 환경 모델에 환경 매핑되는 각 환경맵에서 두 환경 모델이 겹치는 부분의 텍셀을 블랜딩하여 사용하여야한다. 본 연구에서는 두 환경맵에서 서로 대응되는 텍셀을 찾기 위해 환경맵 일치를 위해 사용한 대응선을 이용하였다. 먼저, 대응선 l을 대응점 p, q를 이용하여 다음과 같은 패러미터 식으로 계산한다.



(a) 통합된 모델의 텍스춰 불일치 (b) 텍스춰 블랜딩

그림 15. 텍스춰 불일치와 텍스춰 블랜딩

$$l = p + (q - p)t \qquad \text{(수식 9)}$$

대응선을 구성하는 t 값을 0이하의 구간으로 감소시켜 t의 최소값을 구하고 t 값을 1이상의 구간으로 증가시켜 t의 최대값을 구한다. 바닥면이 아닌 영역이 나오면 t의 구간을 멈추거나 이미지 영역을 벗어나면 t의 구간을 멈춘다. 이렇게 구해진 대응선의 t 구간을 이용하여 구한 대응점들(바닥면 위의 3차원 점들)의 값(p_a| p_b)을 수식 9와 같이 계산한다. l_a, l_b는 대응선을 말하고 N_a, N_b는 각 평면의 노말을 말하며 m은 블랜딩할 환경 영역의 크기를 말한다.

$$p_a = l_a + i \times N_a \ , \ p_b = l_b + i \times N_b \quad -m \le i \le m \qquad \text{(수식 10)}$$

수식 10에 의해 p_a, p_b에 해당하는 환경맵의 텍셀 값 C_a, C_b를 다음과 같은 수식으로 블랜딩하여 텍스춰의 불일치를 해소한다.

$$C = C_a \times r + C_b \times (1 - r) \qquad \text{(수식 11)}$$

r은 두 텍셀간의 혼합 비율을 나타낸다. 혼합비율 r은 대응선과의 거리차에 따라 정해지며 수식 10의 i값에 의해 조절된다. 그림 15-b는 앞에서 설명한 방법에 의해 연결 부분에 있는 각 환경맵의 텍셀을 블랜딩하여 나타낸 모습이다. 두 모델간의 텍셀의 불일치가 대부분 제거되었음을 알 수 있다. 텍셀 블렌딩을 반복하여 수행하면 이음새를 완전히 제거할 수 있다.

5. 구현 결과

본 논문에서는 실사 영상으로부터 환경맵(OCC맵)을 생성하기 위해 Sony DCR-TRV20 디지털 캠코더, 삼각대와 세미 어안렌즈를 사용하였고 영상 기반 탐색 시스템의 실시간 렌더링을 위해 OpenGL을 이용하였다. 또한, 구현 환경으로 팬티엄 III 700MHZ PC와 Winfast Geforce DDR을 사용하였다. 표 1은 제안된 방법에 의해 생성된 환경 모델에 따른 렌더링 시간을 보여주고 있다. 표 1에서 알 수 있듯이 고해상도의 영상이 매핑된 상세한 환경 모델을 실시간으로 렌더링할 수 있다.

5.1 일반 영상을 이용한 다중 환경 모델의 통합

본 연구에서는 다양한 시점에서 생성된 환경 모델

표 1. 분할 기반 환경 모델들의 렌더링 시간

	영상의 종류	영상 갯수	영상의 해상도	환경 모델의 폴리건 수	렌더링 시간
환경 모델 A (경회루)	일반 영상	1장	600×865	41,520	25 fps
환경 모델 B (석굴암)	일반 영상	1장	800×628	40,320	34 fps
환경 모델 C (공대복도)	일반 영상	3장	820×627	78,116	17 fps
환경 모델 D (할매동산)	환경 맵	1장	1000×500	40,000	32 fps
환경 모델 E (아트센터)	환경 맵	2장	1200×600	84,060	15 fps

들을 통합 테스트를 위해 세가지 경우의 환경 영상을 사용하였다. 첫 번째는 시선이 같고 시점이 앞으로 전진한 영상(그림 16)을 사용하였고 두 번째로는 시선이 서로 마주 바로 보는 영상(그림 17)을 사용하였다. 마지막으로 다양한 각도에서 획득된 세 개의 영상(그림 18)을 이용하였다.

그림 16은 건물 내부의 복도를 나타내는 영상과 그 영상을 획득한 시선 방향으로 전진한 영상에 의해 생성된 환경 모델들을 통합하는 과정을 나타내고 있다. 그림 17은 서로 마주 바로 보는 위치에서 획득한 영상, 즉 시선의 방향이 180도로 다른 영상에 의해 생성된 두 환경 모델을 통합하는 과정을 나타내고 있다. 각 통합 결과에서 알 수 있듯이 두 개의 대응점을 이용하여 임의의 시점에서 획득된 환경 모델들을 손쉽게 일치시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 18은 시점이 서로 다르고 다양한 각도에서 획득된 세 개의 영상을 이용하여 환경 모델을 구성하는 과정을 나타내고 있다. 모델 1은 시선이 복도를 중앙으로, 모델 2는 좌측으로, 모델 3은 우측으로 바

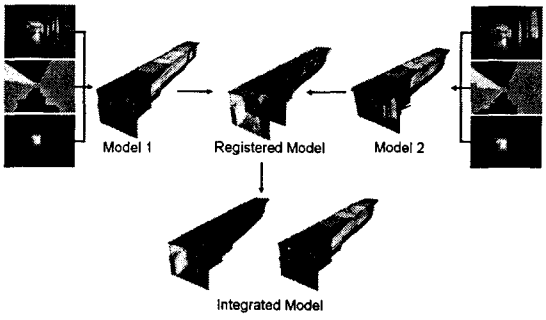


그림 16. 시선 방향으로 전진한 영상과의 다중 환경 모델의 통합

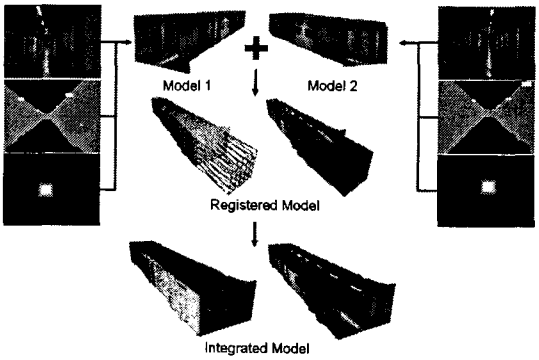


그림 17. 서로 마주 바로 보는 영상을 이용한 환경 모델의 구성

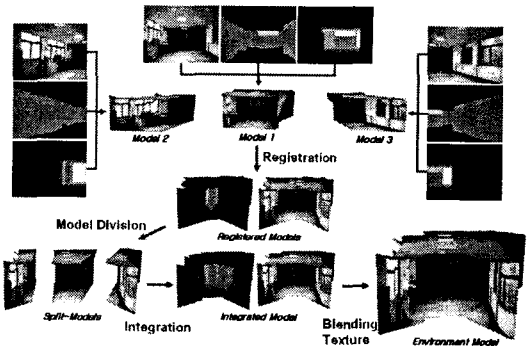


그림 18. 다양한 각도에서 획득된 영상을 이용한 환경 모델의 구성 (공대복도)

라보는 영상에 의해 구성된 환경 모델이다. 중앙 모델 1을 중심으로 좌측 모델 2와 우측 모델 3을 일치시킨다. 좌측 모델 2를 중앙 모델 1에 일치시키는 변환식으로 이동 변환(407.81, 0.0, -28.30), 회전 변환(40.57°)과 크기 변환(0.66)을 사용하였고 우측 모델 3을 중앙 모델 1로 일치시키는 변환식으로 이동 변환

(-441.73, 0.0, -17.47), 회전 변환(-63.22°)과 크기 변환(0.91)을 사용하였다. 이렇게 일치된 모델을 각 대응선에 의해 구해진 분할 평면에 의해 두 개의 하위 모델로 나누고 환경자료의 중복이 적은 하위 모델을 선택하여 통합한다. 분할된 하위 모델을 통합한 환경 모델은 분할면에서 이음선이 발생한다. 이러한 이음선 제거를 위해 각 모델에 매핑되는 칼라 영상을 대응선을 기반으로 각 칼라 영상의 픽셀들을 혼합하여 칼라 영상을 재구성하고 이를 환경 매핑하여 하나의 환경 모델을 구성한다.

5.2 환경 맵을 이용한 다중 환경 모델의 통합

환경 맵(OCC 맵[27])에 의해 구성된 환경 모델들을 일치시키고 통합시키는 방법은 일반 영상을 이용한 방법과 동일하다. 먼저, OCC 맵을 바탕으로 분할 영상을 생성하고 깊이 영상을 계산한다. 이렇게 구해진 깊이 영상을 이용하여 각 환경 모델을 구성하고 두 환경 모델의 대응점을 이용하여 환경 모델을 일치시킨다. 일반 영상과 같이 대응점을 이용하여 구성된 대응선에 의해 물체를 분할하고 통합할 수 있으나 최적의 해상도를 갖는 상세한 모델을 얻기가 어렵다.

일반 영상과 달리 OCC 맵은 환경 전체를 나타내므로(완전 시야를 가지므로) 대응선을 구성하는 방법과 대응선에 의해 구성된 분할 평면에 의해 나누어지는 두 개의 하위 모델 중 어느 것을 선택할지가 중요하다. 본 연구에서는 OCC 맵을 이용하여 환경 모델을 통합할 시 대응점에 의해 대응선을 구성하는 방법대신 각 OCC 맵의 시점에 의해 이분되는 직선을 대응선으로 선택하는 방법을 사용하였다. 또한, 분할된 두 개의 하위 모델중 시점이 포함된 하위 모델을 선택한다. 결과적으로 여러 시점의 환경 모델을 통합할 시 보로노이 다각형을 기반으로 환경 모델이 분할되어 통합됨을 알 수 있다.

즉, 그림 19와 같이 다섯 개의 시점에서 환경맵이 획득되었을 때 각각의 시점에서 자신의 보로노이 다각형 영역내의 환경 모델과 해당 텍스춰만으로 환경을 나타내고 환경 모델을 구성한다. 이러한 보로노이 다이어그램에 의한 환경 모델 분할 방법은 최적의 해상도를 갖는 상세한 환경 모델을 획득할 수 있는 특징을 가진다.

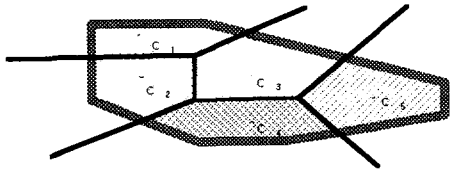


그림 19. 보로노이 다각형에 기반을 둔 환경 모델의 분할/통합

그림 20은 실내 미술관을 나타내는 두 개의 OCC 맵을 이용하여 환경 모델을 구성하는 과정을 보여주고 있다. 노란색 모델은 모델 1을 의미하고 파란색 모델은 모델 2를 말한다. 모델 2를 모델 1로 일치시키는 변환식으로 이동 변환(1.04, 0.0, 2.80), 회전 변환(-12.88°)과 크기 변환(0.89)을 사용하였으며 각 환경 맵을 획득한 시점을 이분하는 이분선에 의해 분할 평면을 구성하여 환경 모델을 통합하였다.

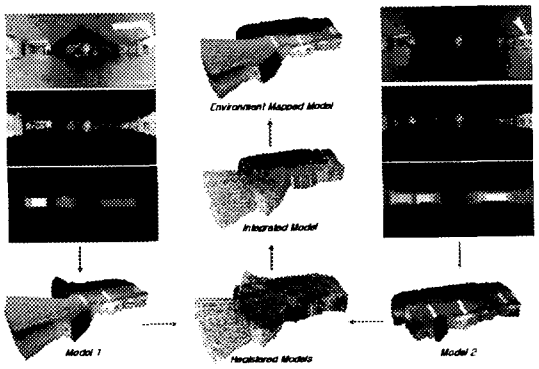


그림 20. OCC 맵을 이용한 환경 모델의 구성 (아트센터)

6. 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.

그러나, 단일 환경맵에 의해 구성된 환경 모델은 단일 해상도에 의해 발생하는 영상의 흐림 현상과 가리움 현상에 의해 환경맵에서 없는 정보가 나타날 시 발생하는 구성된 3차원 모델의 늘어짐 현상이나 정보의 부족으로 인한 영상의 구멍이 발생한다. 이러

한 문제를 제거하기 위해서는 다중 환경맵에 바탕을 둔 3차원 환경 모델의 구성이 필요하다.

자유로운 시점 변경과 탐색 영역의 확장을 위해 대응선에 기반을 둔 환경 모델들의 일치 및 통합에 의한 단일화된 환경 모델을 생성한다. 다중 환경맵에 의한 환경모델링 방법은 최적의 해상도를 갖는 상세한 환경 모델을 생성할 수가 있어 시점이 자유로운 고화질의 탐색 영상 생성이 가능하다. 또한, 새로운 환경 영상의 추가를 통한 환경 모델의 통합으로 환경의 탐색 영역을 확장할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 방법들을 이용하여 시점이 자유로운 현실감 있는 영상을 실시간으로 표현하는 환경 탐색 시스템을 개발하였다.

제안된 다중 영상을 이용한 환경 탐색 방법은 여러 가지 특징 및 제한점을 가지고 있어 다음과 같은 향후 연구가 필요하다. 영상 분할시 주변 물체는 바닥면에 수직으로 설정되어 있다고 제한을 두어 깊이값을 이웃하는 바닥면의 깊이값으로 설정하도록 하였다. 이러한 모델링 방법은 단일 환경맵만을 적용시 주변 물체들을 상세하게 표현을 할 수가 없다. 주변 물체의 세밀한 표현을 위해서는 [17]에서와 같이 주변 환경의 실제 크기를 참조하여 환경을 모델링하는 방법이나 [20]에서와 같이 특정 타입을 이용한 환경 모델링 방법과 같은 연구가 필요하며 주변 물체의 계층화를 통한 환경 모델링 방법의 연구도 필요하다.

환경맵을 단일 해상도로 적용할 시 환경내의 영상을 확대하거나 축소할 경우, 가까이 가거나 멀어질 경우 하나의 픽셀을 여러개의 텍셀로 표현하는 샘플링 문제나 여러개의 픽셀을 하나의 텍셀로 표현하는 흐림 현상등이 발생한다. 이러한 현상들을 제거하기 위해 다중 해상도를 갖는 환경 맵을 이용하는 연구가 필요하다.

또한, 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, [18,36,37]에서와 같이 수평면이나 수직면이 아닌 임의의 평면에 대해서도 깊이값 추출이 가능하도록 제한 조건을 일반화하는 연구가 필요하다.

마지막으로, 분할 기반 환경 모델에 의해 구해진 3차원 환경 모델은 근사화에 의해 3차원 모델링이 되므로 정확하게 환경 모델들을 일치시키고 통합하기가 어렵다. 본 연구에서는 이러한 모델들을 일치시키고 통합하기 위해 대응점들을 이용하였다. 향후 연구로는 레인지 영상의 도움없이 영상만을 사용하여 보다 정밀하게 구성된 3차원 환경 모델을 획득하기 위한 새로운 방법에 대한 연구가 필요하며 이렇게 구성된 환경 모델을 자동으로 일치시키고 통합하는 방법에 대한 연구도 필요하다.

7. 감사의 글

본 논문은 과학기술부 국가지정 연구소(2000-N-NL-01-C-285)와 중앙대 정보통신연구원의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Tomas Akenine-Moller, Eric Haines, *Real-Time Rendering (Second Edition)*, A K Peters, 2002.

[2] Christoph Bregler, Michael F. Cohen, Paul Debevec, Leonard McMillan, Francois X. Sillion, Richard Szeliski, *Image-based Modeling, Rendering, and Lighting*, SIGGRAPH 99 Course #39, 1999.

[3] Lisa Gottesfeld Brown, "A survey of image registration techniques", ACM Computing Surveys, Vol. 24, No. 4, pp. 325-376, Dec. 1992.

[4] T. Kanade, M. Okutomi, "A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window: Theory and Experiment, Pattern Analysis and Machine Intelligent", Vol. 18, No. 3, pp. 920-932, September 1994.

[5] C. Zitnick and T. Kanade, "A Cooperative Algorithm for Stereo Matching and Occlusion Detection". tech. report CMU-RI-TR-99-35, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, October, 1999.

[6] G. Dalley. "A Software Test-bed for the

Registration of 3D Range Images". B.S. Thesis, The Ohio State University, August 2000.

[7] D.F. Huber, "Automatic 3D Modeling Using Range Images Obtained from Unknown Viewpoints", Proceedings of the Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, IEEE Computer Society, pp. 153-160, May, 2001.

[8] Kari Pulli, "Multiview Registration for Large Data Sets", Proceedings of Second International Conference on 3D Digita l Imaging and Modeling (3DIM'99), pp. 160-168, Ottawa, Canada, October 1999.

[9] A. Johnson and S. Kang, "Registration and Integration of Textured 3-D Data", International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM '97), pp. 234-241, May, 1997.

[10] Hendrik P. A. Lensch, Wolfgang Heidrich, and Hans-Peter Seidel. "Automated Texture Registration and Stitching for Real World Models". In Proceedings of Pacific Graphics '00, pp 317-326, October 2000.

[11] Paul Beardsley, Phil Torr and Andrew Zisserman, "3D Model Acquisition from Extended Image Sequences", ECCV96, pp 683-695, 1996.

[12] M. Pollefeys, *Self-calibration and metric 3D reconstruction from uncalibrated image sequences*, Ph.D. Thesis, ESAT-PSI, K.U.Leuven, 1999.

[13] R. Cipolla, D. Robertson, and E. Boyer. Photobuilder-3d models of architectural scenes from uncalibrated images. In IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems, 1999.

[14] Paul Debevec, Camillo J. Taylor, and Jitendra Malik, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-Based Approach", SIGGRAPH '96, pp. 11-20, 1996.

[15] Heung-Yeung Shum, Mei Han, Richard Szeliski. "Interactive Construction of 3D Models from Panoramic Mosaics". IEEE CVPR, pages 427-433, Santa Barbara, June 1998.

[16] Youichi Horry, Ken-Ichi Anjyo, Kiyoshi Arai, "Tour Into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image", SIGGRAPH '97, pp 225-232, 1997.

[17] A. Criminisi, I. Reid, A. Zisserman, "Single View Metrology," Int. J. of Computer Vision, v.40, n.2, pp. 123-148, 2000.

[18] 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.

[19] Byong Mok Oh, Max Chen, Julie Dorsey, Fredo Durand, "Image-based modeling and photo editing". SIGGRAPH 2001: 433-442.

[20] L. Zhang, G. Dugas-Phocion, J.-S. Samson, and S. M. Seitz, "Single View Modeling of Free-Form Scenes", Proc. Computer Vision and Pattern Recognition, 2001.

[21] H. W. Kang, S. Y. Shin, "Tour into the picture using a vanishing line and its extension to panoramic images", Eurographics 2001, 2001.

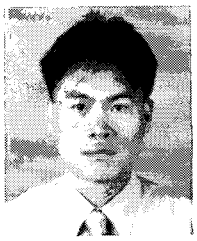
[22] S.-H. Chu and C.-L. Tai, "Animating Chinese Landscape Paintings and Panorama using Multi-Perspective Modeling", Proc. of Computer Graphics International 2001, July 3-6, Hong Kong.

[23] Leonard McMillan and Gary Bishop, "Plenoptic modeling : An image-based rendering system". SIGGRAPH '95, pp 39-46.

[24] Sing Bing Kang and R. Szeliski, "3-D scene data recovery using omnidirectional multibaseline stereo", In CVPR '96, pp 364-370, June 1996.

[25] W. Skarbek and A. Koschan, "Colour Image Segmentation - A Survey", Technical Report 94-32, Technical University of Berlin, De-

partment of Computer Science, October 1994.
[26] 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.
[27] SeungTaek Ryoo. KyungHyun Yoon, "Double Cross Cylinder", IEICE Transaction on Information & Systems, Vol. E-85, No. 6, pp 1022-1030, June 2002.
[28] T. W. Marc Levoy. "The Use of Points as a Display Primitive" Technical report, University of North Carolina at Chapel Hill, 1985.
[29] J. P. Grossman and W. J. Dally. "Point Sample Rendering.", Proceedings of the Eurographics Workshop 1998, pp 181-192. Eurographics, Springer, July 1998.
[30] Hanspeter Pfister, Matthias Zwicker, Jeroen vanBaar, Markus Gross, "Surfels - Surface Elements as Rendering Primitives", SIGGRAPH 2000.
[31] Szymon Rusinkiewicz, Marc Levoy, "QSplat: A Multiresolution Point Rendering System for Large Meshes", presented at SIGGRAPH 2000.
[32] Richard Hartley and Andrew Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, CAMBRIDGE University Press.
[33] Cunningham, "3D Viewing and Rotation Using Orthonormal Bases", in Graphics Gems, Andrew Glassner(ed.), Academic Press, 1990, 516-521.
[34] G. Turk and M. Levoy. "Zippered polygon meshes from range images". In Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH 94, pages 311-318, Jul. 1994.
[35] B. Curless and M. Levoy. "A Volumetric Method for Build-ing Complex Models from Range Images". *SIGGRAPH 96*, pp 303-312, August 1996.
[36] C. Baillard and A. Zisserman, "Automatic Reconstruction of Piecewise Planar Models from Multiple Views", *Proc. IEEE Computer vision and Pattern Recognition*, Fort Collins, Colorado, pp. 559-565, June, 1999.
[37] A. Dick, P.Torr, R. Cipolla. "Automatic 3D modelling of architecture", Proc. 11th British Machine Vision Conference (BMVC'00) Bristol, September 2000, pp 372-381.



류 승 택

1996년~1998년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학사, 공학석사
2002년 8월 중앙대학교 영상 공학과 컴퓨터 그래픽스전공 공학박사
2002년 9월~현재 중앙대학교 정보통신 연구원 연구 전담 교수
관심분야 : 3D Terrain Modeling, Image Based Rendering, Realtime Rendering, NPR
E-mail : bluelancer@cglab.cse.cau.ac.kr

윤 경 현

1991년 3월 University of Conecticut CS&E 박사
1983년 9월~1985년 8월 한국전기연구소 연구원
1991년 9월~현재 중앙대학교 컴퓨터 공학과 교수
관심분야 : Rendering, Global Illumination, Image Based Rendering, NPR
E-mail : khyoon@cau.ac.kr

교 신 저 자

류 승 택 156-756 서울 동작구 흑석동 221 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 컴퓨터 그래픽스연구실