

# 영상 기반 표현 기술

류 승택\*

## 1. 개 요

컴퓨터의 성능 향상과 인터넷 기술의 발달로 멀티미디어 분야에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 그 중 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용한 3차원 표현이 핵심 분야로 부각되고 있다.

전통적인 모델 기반 그래픽스 기술은 그동안 실세계의 사실적인 표현에 목적을 두고 3차원 모델링 기술, 텍스처 매핑 기술, 엘러리징 제거 기술, 완전 조명 모델 기술 등과 같은 연구를 진행하여 왔다. 사실적인 렌더링을 위해서는 상세한 3차원 모델을 표현하기 위한 고급 모델링 기술이 필요하며, 조명과 주변물체들의 관계에 의한 물리적 광학 현상을 시뮬레이션하기 위한 고급 렌더링 기술이 필요하다. 아직까지 컴퓨터 그래픽스 연구자들은 표현하지 못했던 실세계의 현상에 대한 모델링과 렌더링 기술을 연구 중에 있다. 실세계 물체들을 상세히 표현하기 위해서는 많은 수의 다각형으로 구성된 3차원 모델이 필요하며 이를 사실적으로 렌더링하기 위해서는 많은 계산시간을 필요하다. 이렇듯 전통적인 모델기반 표현 기술은 현실감있는 실세계를 실시간으로 표현하는데 한계점에 다다르고 있다.

최근에는 이러한 문제점들을 극복하기 위해 현

실세계의 이차원 영상들을 이용한 영상기반 표현(Image Based Representation) 기술이 새롭게 주목을 받고 있다. 영상 기반 표현 기술이란 렌더링 비용이 많이 드는 3차원 기하 물체로 표현하는 대신 2차원 영상으로 대체하는 방법을 말한다. 영상 기반 표현 기술은 많은 수의 3차원 다각형들을 2차원 영상들로 대체함으로써 렌더링을 실시간으로 수행할 수 있게 하며 또한 실세계 자연 현상을 표현하기 위해 고비용이 드는 시뮬레이션 알고리즘을 사용하여 렌더링할 필요 없이 실제 영상을 사용하여 표현함으로써 보다 현실세계와 같은 영상을 생성할 수 있다는 장점을 가지고 있다[1-8].

본 논문은 영상 기반 표현 기술을 보다 쉽게 이해할 수 있도록 대표적인 방법들을 개괄적으로 소개할 것이다. 여기에 포함되지 않은 기술들도 충분한 성과를 가지고 있는 방법들이며 본 연구자의 영상 기반 표현 기술들의 분류 방법과 지면상의 제한으로 언급하지 못하는 것을 아쉽게 생각한다.

영상 기반 표현 기술의 분류방법으로는 연구자들에 따라 여러 가지 방법으로 분류되고 있다 [1-8]. 본 논문에서는 영상 기반 표현 기술들을 영상기반 렌더링, 영상 기반 모델링, 영상 기반 가속화, 영상 기반 라이팅으로 분류하여 표현한다. 먼저, 영상 기반 표현 기술과 전통적인 그래픽스 기술에 대한 특징과 차이점에 대해 알아보고 각 분류 기술들에 대한 정의와 대표적인 알고리즘들

\* 한신대학교 소프트웨어학과 교수

에 대해 알아보기로 한다.

## 2. 영상 기반 표현

영상 기반 표현이란 렌더링 비용이 많이 드는 3차원 기하 물체로 표현하는 대신 2차원 영상으로 대체하는 방법을 말한다[1-8]. 전통적인 컴퓨터 그래픽스 표현 방법은 그림 1-a와 같이 3차원 입력 자료를 바탕으로 물체를 3차원으로 모델링하여 물체의 기하학(geometry)과 물체의 특성(material)을 바탕으로 시점과 조명과의 관계를 조사하고 빛의 세기(intensity)를 결정하여 물체를 렌더링하여 영상을 출력한다.

이에 반해, 영상 기반 표현 방법은 그림 1-b와 같이 2차원 영상 집합을 입력 값으로 한다. 시점이 변경된 영상을 얻기 위해서는 컴퓨터 그래픽스 기법과 영상 처리 기법을 바탕으로 입력 영상을 보간하거나 픽셀을 재투사하여 표현한다. 이러한 영상 기반 표현은 영상의 복잡도와 상관없이 물체를 표현할 수 있어 실시간 렌더링 기법에 적합하다.

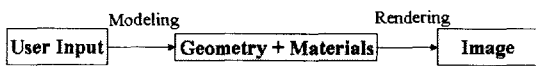
전통적인 모델 기반 방법은 환경을 구성하는 물체의 복잡도에 따라 렌더링 비용이 들며 속도를 높이기 위해 3차원 그래픽 가속기를 필요로 한다. 또한, 사실감 있는 영상 생성을 위해 고비용이 드

는 렌더링 알고리즘이 필요하다. 반면, 영상 기반 표현 방법은 영상의 복잡도에 독립적이며 영상의 개수 및 화질에 따라 렌더링 비용이 필요하고 렌더링 속도는 프로세서의 속도에 의존한다. 또한, 입력 영상의 해상도에 의존하여 사실감있는 영상 생성이 가능하다. 표 1에서는 지금까지 설명한 특성에 따른 두 방법의 특징을 비교하여 나타내고 있다.

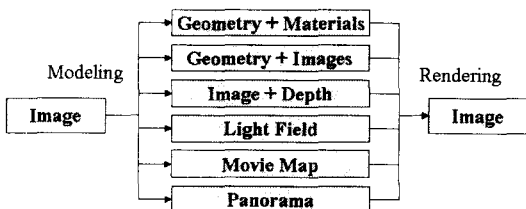
이러한 영상 기반 표현 기술들은 이차원 영상들의 조합에 의해 표현된 픽셀들의 재투사 및 보간 방법을 이용한 **영상 기반 렌더링** 방법, 영상으로부터 특징들을 추출하여 이를 3차원 모델링하고 실제 환경 영상들을 환경 매핑하는 **영상 기반 모델링** 방법, 전통적인 모델 기반 렌더링 방법과 영상 기반 렌더링 방법을 혼합하여 실시간 렌더링을 구현한 **영상 기반 가속화** 방법과 2차원 영상으로부터 조명 정보를 추출하여 새로운 조명 환경을 부여하는 **영상 기반 라이팅** 기술로 나눌 수 있다. 각 방법에 대한 특징에 대해서는 다음 장에서 상세히 소개하겠다.

표 1. 전통적인 모델 기반 기술과 영상 기반 표현 기술의 비교

	모델 기반 표현 기술	영상 기반 표현 기술
모델링	외부적인 3차원 모델 사용	영상들의 조합
렌더링	전통적인 렌더링 파이프라인 사용	픽셀 재투사 및 보간
렌더링 비용	환경을 구성하는 물체의 복잡도	영상의 개수 및 화질
속도	하드웨어 가속기	프로세서의 속도
사실감	정교한 렌더링 알고리즘	입력 영상의 해상도



(a) 전통적인 모델 기반 표현



(b) 영상 기반 표현

그림 1. 영상 기반 표현 [4]

## 3. 영상 기반 렌더링

영상 기반 렌더링 방법은 이차원 영상들의 조합으로부터 환경을 샘플링하여 모델링하고 영상

의 특징을 이용하여 샘플링된 픽셀들을 보간하거나 재투사하여 렌더링 영상을 구성한다. 영상 기반 렌더링 방법들은 기하 구조의 복원없이 환경 탐색 영상을 생성할 수 있으나 보간 및 픽셀 재투사를 위한 고비용이 들기 때문에 실시간 렌더링이 쉽지 않으며 입력 영상들의 저장을 위해 많은 저장공간을 필요로 한다.

이러한 영상 기반 렌더링 기술로는 기하정보(Geometric information)의 사용에 따라 순수(pure) 영상 기반 렌더링과 혼합(hybrid) 영상 기반 렌더링 기술로 나눌 수 있다. 순수 영상 기반 렌더링 기술은 이차원 영상만으로 새로운 관점의 영상을 생성하는 방법을 말하며 혼합 영상 기반 렌더링 기술은 이차원 영상과 함께 깊이 정보와 같은 기하 정보를 사용하여 영상을 생성하는 방법을 말한다.

### 3.1 순수 영상 기반 렌더링

순수 영상 기반 렌더링 방법은 기하 모델, 모델 특성과 조명 모델에 의해 주변 환경을 표현하는 대신 실세계 공간을 채우는 광선들의 조밀한 집합으로 표현한다. 이렇게 표현된 함수를 플렌옵틱 함수(plenoptic function)라고 한다[9].

플렌옵틱 함수란 환경 위에 있는 모든 광선들을 식 1과 같이 공간( $V_x, V_y, V_z$ ), 방향( $\theta, \phi$ ), 시간( $T$ ), 파장( $\lambda$ )으로 표현하여 기록한 7차 함수이다. 다시말해, 동적인 시간의 변화와 파장의 범위에 대해 환경위에 모든 공간으로부터 모든 방향으로의 광선들을 기록한 함수를 말한다(그림 2).

$$I^7(V_x, V_y, V_z, \theta, \phi, \lambda, T) \quad (\text{식 1})$$

플렌옵틱 함수는 환경을 표현하는데 이상적인 함수이기는 하나 전체 환경을 표현하기 위해서는 방대한 양의 데이터를 필요로 하기 때문에 실

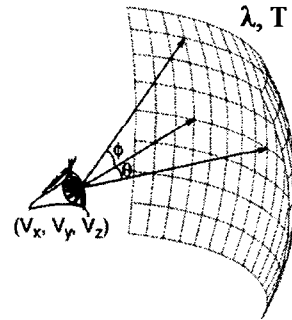


그림 2. 7차 플렌옵틱 함수 (10)

제로 함수를 정의하기 어렵다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 대부분의 영상 기반 렌더링 기술들은 렌더링의 화질을 유지하면서 환경 샘플의 양을 줄이기 위해 가시공간을 제한하거나 기하정보를 추가한 연구에 초점을 맞추고 있다. 또한, 환경 샘플의 중복을 줄이기 위해 압축기법들에 대한 연구도 수행되고 있다.

표 2. 가시 공간의 제약에 의한 다양한 영상 기반 렌더링 방법

차원	표현 방법	함수	가시공간	환경
7D	플렌옵틱 함수	$I^7(V^3, \theta, \phi, \lambda, T)$	자유공간	동적
6D	서페이스 플렌옵틱 함수	$f^6(u, v, w^2, \lambda, T)$	물체의 표면	동적
5D	플렌옵틱 모델링	$f^5(V^3, \theta, \phi)$	자유공간	정적
	라이트필드 비디오	$f^5(u, v, s, t, T)$	육면체의 내부	동적
4D	라이트필드 /루미그래프	$I^4(u, v, s, t)$	육면체의 내부	정적
3D	동심 모자이크	$f^3(\alpha, u, v)$	원의 내부	정적
	파노라믹 비디오	$f^3(\theta, \phi, T)$	고정된 시점	동적
	브랜치 무비	$f^3(\theta, \phi, p)$	주어진 경로	정적
2D	이미지 모자이크	$I^2(\theta, \phi)$	고정된 시점	정적

위첨자: 차원  $\lambda$ : 파장  $T$ : 시간  $p$ : 시점의 궤도  $V^3, u, v$  시점  $\theta, \phi, w^2, \alpha, s, t$  시선 방향

본 논문에서는 이러한 연구들 중 가상공간에 제약조건을 두어 환경 샘플들을 줄이기 위한 연구들에 대해 자세히 알아보기로 한다. 7차 플렌옵틱 함수에 일정한 제한조건을 두면 환경 샘플들을 6차에서부터 2차 함수로 표현할 수 있다. 표 2에서는 각 차원에 대한 대표적인 방법들과 그 특징을 일목요연하게 보여주고 있다.

3.1.1 6차 함수

6차 함수 중 대표적인 표현 기술로는 서페이스 플렌옵틱(surface plenoptic) 함수가 있다. 이 함수는 환경을 둘러싼 모든 서페이스로부터의 광선들의 집합으로 표현한다. 즉, 서페이스 위의 한점  $(u, v)$ , 방향  $(w^2)$ , 시간  $(T)$ , 파장  $(\lambda)$ 으로 광선들을 6차함수로 표현하여 기록한다.

$$I^6(u, v, w^2, \lambda, T) \tag{식 2}$$

이 방법은 환경(scene)보다는 물체(object)에 주안점을 두어 환경 샘플들을 효과적으로 기록하기는 하나 실시간 표현을 위한 압축기법이나 상세도조절(Level-of-Detail) 기법들이 필요하며 물체 표면의 기하정보를 필요로 하여 실세계 영상에 적용하기 어렵다. 또한, 환경을 표현하는 물체의 수가 많아지면 여전히 방대한 양의 환경 샘플들을 필요로 하게 된다. 대표적인 기술로써는 서페이스 플렌옵틱 함수에 시간과 파장을 제거하여 4차 함수로 표현한 서페이스 라이트 필드(Surface light field) 기술[11]이 있다(그림 3).

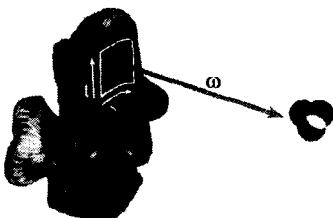


그림 3. 서페이스 라이트 필드 [11]

파장 혹은 시간을 제거하거나 시점을 이차평면으로만 국한하여 플렌옵틱 함수를 6차 함수로 표현할 수 있으나 실용적으로 환경 샘플들을 기록하고 렌더링하기 어렵다.

3.1.2 5차 함수

McMillan은 플렌옵틱 함수로부터 시간과 파장을 무시하여 플렌옵틱 모델링(plenoptic modeling)을 정의하였다[10].

$$I^5(V_x, V_y, V_z, \theta, \phi) \tag{식 3}$$

이 방법은 정적인 환경에서 시점  $(V_x, V_y, V_z)$ 을 세밀한 간격으로 두고 각 방향  $(\theta, \phi)$ 에 대한 광선들을 실린더 영상으로 획득하여 환경 샘플들을 기록하였다. 새로운 영상을 렌더링하기 위해 에피폴라 관계(epipolar relationship)를 기반으로 시점에 가까운 실린더 영상들로부터 광선들을 와핑하여 사용하였다. 그림 4의 위쪽 두개의 영상은 60인치 서로 떨어진 위치에서 획득한 두개의 실린더 영상을 보여주고 있으며 아래 영상은 두 실린더 영상의 관계에 따른 에피폴라 곡선을 나타내고 있다. 이 방법은 조밀한 간격으로 실린더 영상들을 획득하지 않는다면 시점이 이동할 때 입력영상에서 앞의 환경에 가리워져 보이지 않던 샘플들이 나타나(disocclusion) 결과영상에 구멍이 발생한다. 또한, 실린더 영상 자체의 문제로 인해 극좌표계 주변의 광선들을 샘플링 할 수 없다.

또 다른, 5차 함수로는 라이트필드 비디오(light field video) 기술이 있다[12]. 이 방법은 라이트



그림 4. 플렌옵틱 모델링 [10]

필드(4D) 기술의 확장으로 동적인 환경을 표현하는데 사용된다. 라이트 필드에 대해서는 다음절에 자세히 설명하도록 하겠다. 이 방법은 동시에 많은 수의 비디오 카메라들을 필요로 하는 하드웨어적인 특성 때문에 현재에는 제한적으로 사용되고 있다. 이러한 방법이외에 5차 함수로 플렌옵틱 함수를 구성하는 방법으로 파장을 제거하고 이차원 평면으로 시점의 이동을 제한하는 방법도 생각해 볼 수 있다.

3.1.3 4차 함수

대표적인 4차 플렌옵틱 함수로는 라이필드(light field)[13]와 루미 그래프(lumigraph)[14]가 있다. 이 방법은 광선들을 평행한 두 평면(light slab)의 교차점을 이용하여 정의하였다.

$$I^4(u, v, s, t) \tag{식 4}$$

그림 5와 같이 UV평면을 카메라 평면으로 설정하고 ST평면을 이미지 평면으로 설정하고 카메라 평면의 하나의 격자에서 이미지 평면으로 광선을 기록하면 하나의 이차원 영상을 획득할 수 있다. 이러한 과정을 각 격자마다 반복하면 이차원 영상의 배열(4D)로 환경샘플들을 기록할 수 있다.

새로운 시점의 영상을 렌더링할 때에는 그림 6과 같이 시점에서부터 이미지 평면으로 광선을 생성하여 카메라 평면과 초점평면과의 교차점을 계산한다. UV평면에서의 교차점은 재샘플링할 영상을 선택하는데 사용하고 ST평면의 교차점은

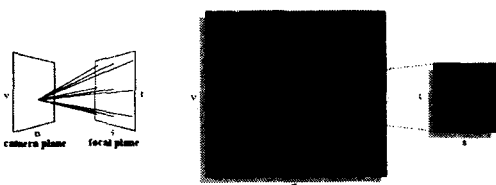


그림 5. UV평면과 ST평면의 관계 [13]

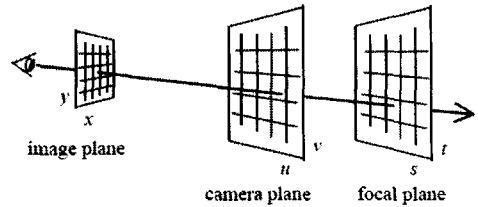


그림 6. 라이트 필드 렌더링 [13]

선택된 영상으로부터 실제 픽셀을 선택하는데 사용한다. 라이트 필드 렌더링에서는 재샘플링 방법으로 가장 가까운 이웃 픽셀을 사용하는 방법과 사차 보간 방법을 사용하였다.

라이트 필드와 루미그래프는 기본 적용 방법은 유사하나 다음과 같은 차이점을 가지고 있다. 라이트 필드는 환경의 기하정보를 전혀 사용하지 않는다. 반면, 루미그래프는 적은 양의 영상들을 사용하기 위해 간략한 기하정보를 사용한다. 또한, 라이트필드에서 일정한 간격의 격자위치에서 영상을 샘플링하는 것과는 다르게 불규칙한 위치에서 영상들을 샘플링하는 것을 허용한다.

이러한 렌더링 방법은 환경의 복잡도에 독립적이고 실시간으로 렌더링 할 수 있다. 또한, 하일라이트와 같이 시선에따라 변하는 효과를 표현할 수 있다. 그러나, 재샘플링시 보간에 의해서 발생하는 영상 흐림(blurring)현상을 막기 위해 많은 수의 영상이 필요하며 이로 인해 고비용의 저장 공간이 필요하다. 이 방법은 물체에 주안점을 두어 밖에서 안으로 물체를 관찰할 경우에는 적당하나 안에서 밖으로 환경을 내다보는 경우에는 부적합하다. 또한, 시점은 제한된 공간내부(육면체의 내부)에서만 이동할 수 있다.

이러한 방법이외에 4차 함수로 파장과 시간을 제거하고 시점이 정의된 이차평면 안에서만 이동하도록 하여 구성하거나 파장을 제거하고 시점이 정의된 궤도만을 이동하도록 하여 동적환경에 적용할 수 있도록 정의할 수도 있다.

3.1.4 3차 함수

3차 플랜유틱 함수로는 관찰자와 카메라를 정의된 평면에 제한을 두어 정의한 동심 모자이크 (concentric mosaic) 방법[15]이 있다(식 5).

$$l^3(\alpha, u, v) \tag{식 5}$$

이 방법은 원의 중심에서부터 일정한 거리만큼 떨어진 위치에 슬릿 카메라(slit camera)들을 설치하고 전방향으로 회전하여 환경 샘플들을 슬릿 영상으로 기록한다(그림 7). 슬릿카메라는 일반 카메라와 같이 전체 영상(2D)을 기록하는 것이 아니라 하나의 수직 라인 영상(1D)만을 획득한다. 새로운 영상을 렌더링할 경우에는 해당 광선과 가까운 슬릿 샘플들을 보간하여 표현한다.

이 방법은 라이트 필드 방법에 비해 환경 샘플들의 양을 상당히 줄일 수 있으며 하이라이트와 같은 시점 의존적 현상을 표현할 수 있다. 또한, 수평 시차(horizontal parallax)를 표현할 수 있으나 수직 시차(vertical parallax)는 표현할 수 없다. 중심 모자이크 논문에서는 “인간의 눈이 보행시 일정한 높이를 유지하기 때문에 수직시차에 덜 민감하다”고 언급하고 있다. 이 방법은 시점이 정의된 원의 내부만 이동한다는 제한점을 가지고 있다. 다른 3차 플랜유틱 함수로는 파노라믹 비디오(panoramic video)와 브랜치 무비(branch movie)가 있다[16,17]. 파노라믹 비디오 방법은 플랜유틱함수로부터 파장을 제거하고 시점을 고정하

여 환경 샘플들을 획득하여 사용한다. 이 방법은 전체주변 환경 샘플들을 획득하기 위해 다중 카메라를 사용하거나 어안렌즈, 전방향(omnidirectional) 카메라를 사용한다. 브랜치 무비 방법은 플랜유틱 함수에서 파장과 시간을 제거하고 정의된 궤도만을 시점이 이동될 수 있도록 정의한 방법을 말한다. 이러한 방법들은 인터넷 환경에서 iPIX[18], 360 One VR[19], TotalView[20]와 같이 상업용으로 개발하여 사용되고 있다.

3.1.5 2차 함수

2차 프랜유틱 함수로는 하나의 고정된 시점으로부터 전방향의 환경 샘플을 기록하는 이미지 모자이크 방법이 있다. 이 방법은 단일 COP에서 생성된 샘플을 저장하는 단일 COP 모자이크 방법과 다중 COP에서 환경 샘플을 기록하는 다중 COP 모자이크 방법으로 나눌 수 있다. 식 6은 고정된 COP에서 환경 샘플을 기록하는 플랜유틱 함수를 보여주고 있다.

$$l^2(\theta, \phi) \tag{식 6}$$

전 방향에 대한 환경 샘플을 획득 방법으로는 고정된 COP에서 일반 카메라를 회전하여 여러장의 영상을 획득하여 스티칭하거나 파노라마 카메라를 사용하는 방법(그림 8-a), 어안렌즈와 같이 광각 렌즈를 카메라에 부착하여 환경 샘플을 기록하는 방법(그림 8-b)과 반사체를 통해 카메라에 비추어진 영상을 간접적으로 획득하는 방법(그림 8-c)이 있다.

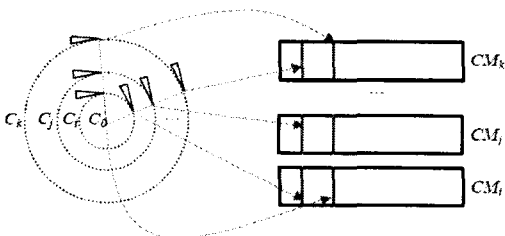


그림 7. 동심 모자이크 [15]

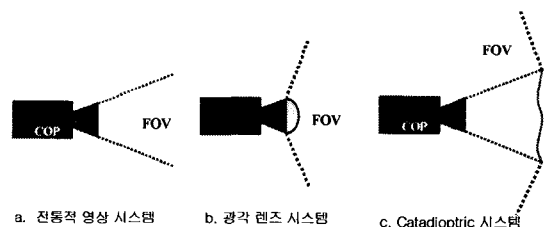


그림 8. 영상 획득 방법의 종류

이렇게 획득된 환경 샘플들을 기록하는 방법에는 구면맵, 큐브 맵, 실린더 맵, 위도-경도 맵, 팔면 맵, 포물면 맵 등이 있다(그림 9).

다중 COP 방법은 시점을 주어진 경로상에서 이동하면서 슬릿 카메라를 이용하여 환경 샘플들을 기록하는 방법을 말한다(그림 10). 이러한 방법으로 생성된 영상을 매니폴드 모자이크(manifold mosaic)이라고 한다. 이 방법은 환경 샘플를 기록하는 카메라가 느리게 이동한다는 전제를 가지고 물체에 주안점을 두어 새로운 영상을 렌더링할 경우에 적합한 방법이다.

이미지 모자이크의 렌더링은 아주 간단하다. 생성된 이미지 모자이크의 투사영상을 평면 투사 영상으로 와핑하는 방법을 사용한다. 2차원 플레넵틱 함수를 이용하여 상용화한 대표적인 예가 QuickTime-VR이다[23]. 이 방법은 고정된 시점

에서 전방향을 확대/축소하여 둘러볼수 기능 이외에 원하는 부분으로 이동(hopping) 할 수 있는 기능을 추가하였다.

이미지 모자이크 방법은 전체 환경을 고정된 시점에서 확대/축소하여 둘러 볼 수는 있으나 시점이 변경된 영상을 표현할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

### 3.2 혼합 영상 기반 렌더링

혼합 영상 기반 렌더링 기술은 환경 샘플들을 줄이기 위해 영상과 함께 기하 정보를 사용한다. 사용되는 기하정보로는 영상간의 관계를 이용한 동일점(correspondence), 레인지 파인더나 영상 처리 방법을 사용하여 얻은 깊이 영상(depth image) 혹은 세분화된 다각형화 모델(polygonal mesh)을 사용한다. 본 논문에서는 혼합 영상 기반 렌더링을 영상간의 일치점을 이용한 방법, 깊이 영상을 이용한 방법과 다각형화 모델을 이용한 방법으로 분류하여 소개하고자 한다.

#### 3.2.1 영상간의 일치점

그림 11과 같이 영상간의 일치점을 알 수가 있다면 새로운 시점에서 일치된 환경샘플의 3차원 위치를 알아낼 수 있다. 이러한 방법을 이용하여 새로운 영상을 생성하는 방법을 3차원 영상 와핑이라고 한다. 영상에서의 하나의 샘플은 투시투사를 사용할 경우 식 7과 같이 표현 될 수 있다.

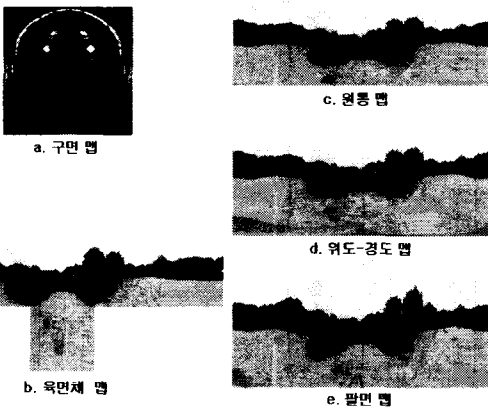


그림 9 환경 맵의 종류 [21]

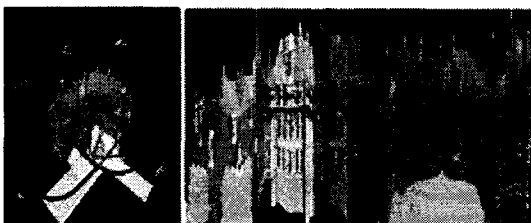


그림 10. 다중 COP [22]

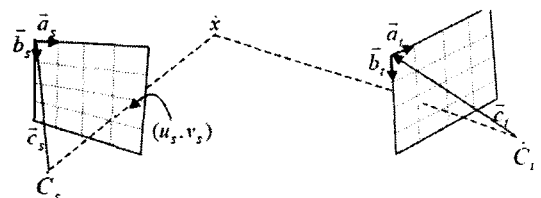


그림 11. 영상 와핑 [1]

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \dot{C}_s + \begin{pmatrix} a_i & b_i & c_i \\ a_j & b_j & c_j \\ a_k & b_k & c_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_s \\ v_s \\ 1 \end{pmatrix} t_s(u_s, v_s) \\ &= \dot{C}_s + P_s \vec{x}_s t_s(u_s, v_s) \quad (\text{식 7}) \\ \therefore t_s(u_s, v_s) &= \frac{|\vec{x} - \dot{C}_s|}{|c + u_s \vec{a} + v_s \vec{b}|} \end{aligned}$$

이렇게 표현된 샘플을 임의의 다른 시점에서 투시투사를 한다면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\dot{C}_t + P_t \vec{x}_t t_t(u_t, v_t) = \dot{x} = \dot{C}_s + P_s \vec{x}_s t_s(u_s, v_s) \quad (\text{식 8})$$

윗 수식을 임의의 다른 시점의 영상에서의 픽셀의 위치( $\vec{x}$ )로 표현하면 식 9와 같은 3D 이미지 와핑 수식을 얻을 수 있다.

$$\vec{x}_t = P_t^{-1} P_s \vec{x}_s + P_t^{-1} (\dot{C}_s - \dot{C}_t) \delta(u_s, v_s) \quad (\text{식 9})$$

이렇게 영상간의 일치점을 이용한 방법으로는 뷰 보간, 뷰 모핑, 영상 와핑등과 같은 방법들이 있다. 뷰 보간 방법[24]은 애니메이터의 수고를 덜어주기 위해 컴퓨터로 생성된 두 영상간의 관계(광학 흐름: optical flow)를 이용하여 선형 보간 방법으로 새로운 영상을 생성하는 방법을 말한다. 이 방법은 영상간의 간격을 조밀하게 사용하였고 카메라 좌표축과 카메라의 움직임이 직교가 되는 영상을 사용하여 가시성 문제를 줄이고자 했다.

그림 12의 위쪽 영상들은 컴퓨터로 생성된 영상을 보여주고 있으며 아래 줄 영상은 위쪽의 양 끝의 영상을 참조 영상으로 하여 뷰보간하여 생성한 영상을 보여주고 있다.

뷰 모핑 방법[25]은 일반 영상 모핑 방법에 전처리 와핑단계와 후처리 와핑단계를 추가하여 시점이 서로 다른 두개의 영상으로부터 영상 왜곡 현상을 제거하여 새로운 시점의 중간 영상을 생성

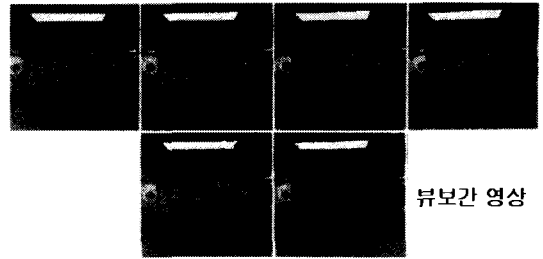


그림 12. 뷰 보간 [24]

하는 방법이다(그림 13). 이 방법은 뷰모핑을 적용할 두 영상간의 가시성이 유사하여야 하며 영상의 특징들을 대응시키기 위해 다수의 사용자 입력을 필요로 한다.

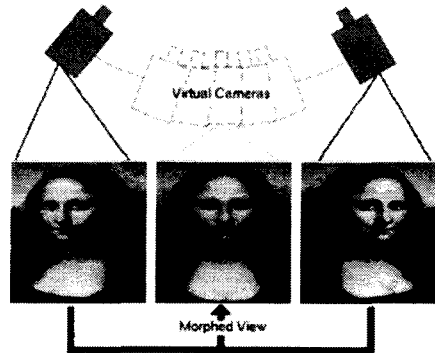


그림 13. 뷰 모핑 [25]

### 3.2.2 깊이영상

혼합 영상 기반 렌더링의 대부분의 연구들은 깊이 영상(depth image), 레인지 영상(range image)을 사용한다. 이러한 기술로는 계층을 갖는 깊이 영상(LDI: Layered Depth Image) 방법, 영상 기반 오브젝트(IBO: Image Based Object) 방법, 릴리프 텍스처(relief texture) 방법등이 있다.

LDI[26]는 하나의 광선에 여러개의 환경 샘플들(칼라와 깊이정보)을 기록한 영상을 말한다(그림 14). 이 방법은 일반 영상을 와핑할 경우 가리워졌던 물체가 나타나게 되어 환경 정보의 부족으로 영상에 구멍이 발생하는 현상을 완화 시킬 수



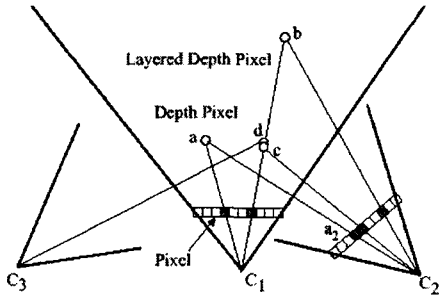
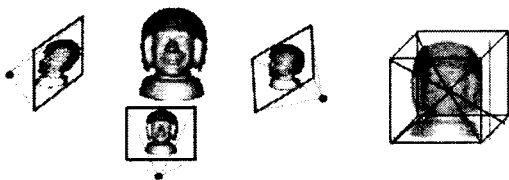


그림 14. 계층적 깊이 영상 [26]

있다. 그러나 이러한 문제를 완전히 제거 할 수는 없다. 또한, 환경 샘플의 밀집도에 따라 발생하는 에어리징 현상을 제거하기 위해 효과적인 필터링 방법이 필요하다. 앞에서 언급된 문제들을 줄이기 위해 계층적 깊이 육면체(Layered depth cube)[27]와 LDI 트리(LDI tree)[28] 방법이 제안되었다.

영상 기반 오브젝트 방법[29]은 3차원 물체의 간결한 영상 기반 표현을 제공한다. 그림 15와 같이 여러 시점에서 물체를 바라보는 영상들을 이용하여 환경정보를 샘플링하고 육면체의 형태를 갖는 여섯개의 LDI로 환경정보를 재샘플링하여 표현한다. 이 방법은 영상 기반 오브젝트를 재사용할 수 있는 특징이 있으며 실제세계 물체를 표현하기 위해서는 레인지 파인더의 사용이 필요하다.

릴리프 텍스처 매핑[30]은 물체의 표면을 세부적으로 표현하기 위해 사용되는 전통적인 텍스처 매핑에 전처리와 평 단계를 추가하여 확장한 방법



(a) 샘플링 (b) 재투사  
그림 15. 영상 기반 오브젝트 [29]

이다. 릴리프 텍스처는 깊이값을 갖는 평행투사영상을 말한다. 그림 16과 같이 텍스처 매핑할 다각형과 관찰자의 위치에 따라 텍스처 맵을 전처리와 평한 후 해당 다각형에 텍스처 매핑 방법을 적용하여 새로운 시점의 영상을 생성한다. 이 방법은 기존 텍스처 매핑 방법을 이용하므로 하드웨어 상에 적용하기에 간단하고 효과적이다. 그러나 텍스처 맵이 하나의 깊이값만을 가지고 있어 다중 계층을 갖는 구조에 적용하기 부적합하다.

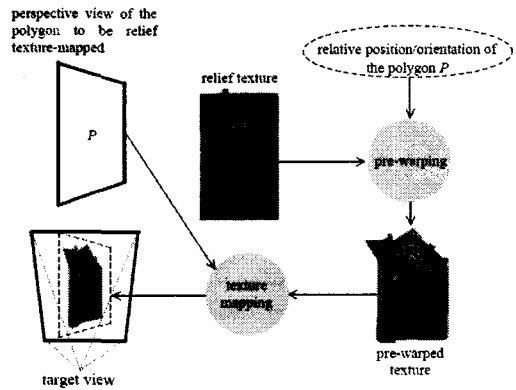


그림 16. 릴리프 텍스처의 적용[30]

### 3.2.3 다각형화 모델

이러한 범주의 방법들은 영상으로부터 3차원 기하 모델을 획득하기 어려움에도 불구하고 영상의 화질을 향상시키기 위해 가능하다면 다각형 모델이나 볼륨 모델을 사용한다. 대표적인 방법으로는 비구조화적 루미그래프(unstructured luminograph)방법[31], 복셀 칼라링(voxel coloring) 방법[32] 등이 있다.

## 4. 영상 기반 모델링

영상 기반 모델링 방법은 영상들의 집합으로부터 특징들을 추출하여 기하 정보를 복원하여 3차원 모델을 생성하고 실제 영상을 매핑하여 새로운 영상을 렌더링하는 방법을 말한다. 이 방법은 전

처리 과정에서 환경을 모델링하여 실시간으로 환경을 자유롭게 렌더링할 수 있다는 특징이 있다.

영상 기반 모델링 방법은 레인지 영상을 이용한 방법, 매칭 알고리즘을 통해 구해진 일치점을 이용한 모델링 방법, 프리미티브(primitive) 기반 모델링 방법, 소실점/소실선을 이용한 모델링 방법으로 나눌 수 있다. 또한, 영상 특징의 종류에 따라, 사용한 영상의 개수에 따라, 사용한 영상의 특성에 따라 구분할 수도 있다. 본 논문에서는 전자의 분류 방법을 사용하여 영상 기반 모델링 방법들을 소개하고자 한다.

4.1 깊이 영상 기반 모델링

깊이 영상 기반 모델링 방법은 실세계 영상과 레인지 파인더를 이용하거나 영상처리 기술을 이용하여 같은 시점에서의 깊이 영상을 사용하여 3차원 모델을 구성하는 방법을 말한다. 그림 17은 실내 복도를 칼라영상과 깊이 영상을 이용하여 사각격자 방법으로 재구성한 기하 모델과 렌더링된 결과를 보여주고 있다.

이 방법은 정확한 3차원 물체의 다각형화된 모델을 얻기 위해 다중의 깊이 영상들을 일치시키고 통합하는 과정이 필요하다. 또한, 레인지 파인더를 이용하여 레인지 영상과 실사 영상을 동시에 획득하기도 하나 아직까지 레인지 영상과 매칭되는 고해상도의 영상을 얻기가 어렵다.

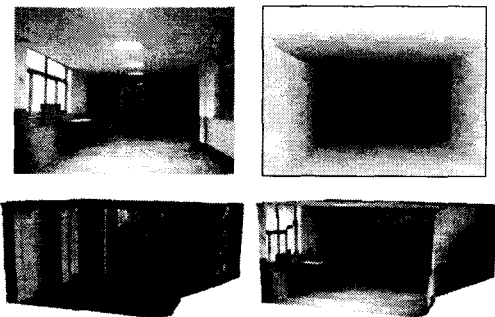


그림 17. 깊이 영상 기반 모델링 [33]

4.2 디스페리티를 이용한 모델링

디스페리티(disparity)란 두장의 스테레오 영상에서 일치점의 픽셀 차를 말한다. 깊이값과 디스페리티 값에 대한 상관관계를 알아보면 그림 18과 같다. 각 영상의 COP  $O_l$ 과  $O_r$ 를 연결한 선분  $\overline{O_l O_r}$ 을 베이스 라인( $T$ )라고 하고 영상의 중심점( $c_l, c_r$ )에 대한 일치점( $p_l, p_r$ )의 좌표를  $x_l, x_r$ 이라고 하자.  $\Delta p_l P p_r$  과  $\Delta O_l P O_r$ 의 삼각형 대응 공식을 사용하면 일치점으로부터 깊이값( $Z$ )을 알아낼 수 있다.

$$\frac{T+x_l-x_r}{Z-f} = \frac{T}{Z}$$

$$Z = f \frac{T}{d} \quad \therefore d = x_r - x_l \quad (\text{수식 10})$$

수식 10에서 알 수 있듯이 깊이값은 초점거리와 베이스라인에 비례하며 디스페리티 값에 반비례함을 알 수 있다.

이러한 일치점을 이용한 방법[34,35]은 영상 획득시에 카메라의 정보를 미리 저장하여 모델링하는 교정(calibration)방법과 아무런 카메라의 정보 없이 내부적인 계산에 의해 카메라 정보를 측정하여 모델링하는 비교정(uncalibration)방법으로 구분할 수 있다. 그림 19은 영상 시퀀스로 부터 투사 및 카메라 설정을 복원하고 세밀하게 일치점을

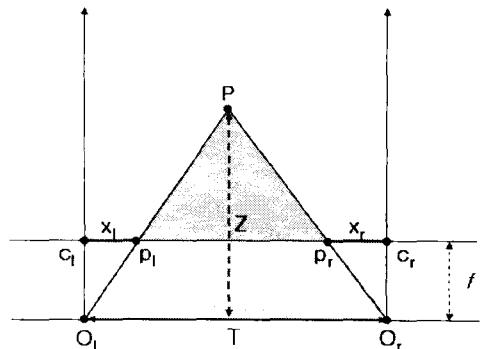


그림 18. 디스페리티를 이용한 깊이값 계산



그림 19. 3차원 재구성의 흐름 (34)

획득하여 3차원 모델을 재구성하는 흐름도를 보여주고 있다.

일치점을 이용하여 영상을 모델링한 가장 대표적인 방법으로는 비교정 영상 시퀀스로부터의 3차원 영상 모델 방법[34]이 있다. 이 방법은 미리 카메라의 정보를 설정하여 영상을 취득하는 대신 일반 비디오 카메라를 이용하여 영상을 획득한다. 획득된 영상들의 일치점을 자동으로 추출하여 카메라 정보를 복원하여 3차원 물체를 모델링한다. 그림 20은 영상의 시퀀스(위쪽 영상)로부터 카메라 정보를 복원하여 3차원 모델(아래쪽 영상)을 구성한 모습을 보여주고 있다.

디스퍼티를 이용한 방법은 영상 시퀀스만을 사용하여 자세한 3차원 모델을 구성할 수 있으나

영상에서 일치점을 찾기 위해 높은 비용이 필요하며 영상 매칭 알고리즘의 정확성에 매우 의존적이다. 또한, 동질 영역이 넓게 분포하거나 같은 패턴이 여러 번 반복되는 영상은 모호성으로 인해 3차원 재구성하기 어렵다.

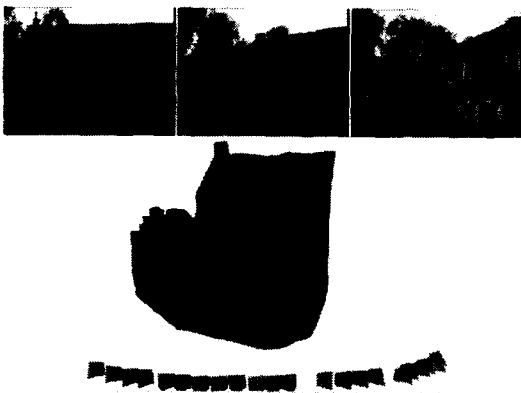


그림 20. 비교정 방법에 의한 영상 기반 모델링

### 4.3 프리미티브 기반 모델링

프리미티브 기반 모델링은 건물과 같은 사진계측(photogrammetric)이 가능한 모델에 주안점을 두어 제공되는 기본 프리미티브(평면, 사면체, 육면체, 원통 등등)들을 사용하여 영상의 구조물과 프리미티브가 일치하도록 설정하여 3차원 모델을 재구성하는 방법을 말한다.

프리미티브 기반 모델링 방법들 중 가장 대표적인 방법으로는 사진 계측 모델링[36]이 있다. 이 방법은 일련의 영상으로부터 사진 계측 방법을 이용하여 기본적인 3차원 기하 모델을 구성하고 모델 기반 스테레오 알고리즘을 이용하여 입력 영상과 기본 기하모델간의 오차를 최소화하여 일치시킨다(그림 21). 렌더링시에는 세밀한 기하모델을 보여주도록 관찰자의 위치에 따라 모델에 다른 영상을 투사하는 뷰 의존 텍스처 매핑(view dependent texture mapping) 방법을 이용하여 시선에 가장 적합한 영상을 표현한다. 그림 22는 뷰 의존 텍스처 매핑 방법의 특징을 보여주고 있다. 위쪽 영상은 기본 프리미티브를 이용해 구성된 기하 모델과 뷰 의존 텍스처 매핑을 적용한 모습을 보여주고 있고 그림 22-c는 그림 22-b에서 사용한 텍스처와 같은 맵을 적용한 모습이고 그림 20-d는 뷰 의존 텍스처 맵을 적용한 모습이다. 뷰 의존 텍스처 매핑 방법은 일반 텍스처 매핑 방법

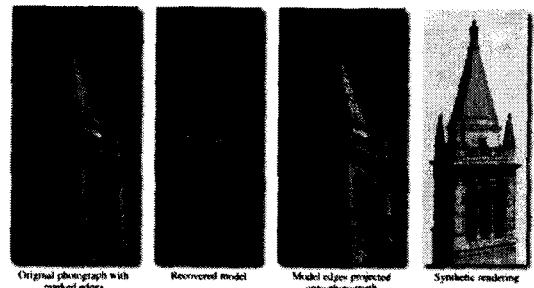


그림 21. 프리미티브 기반 모델링 (36)

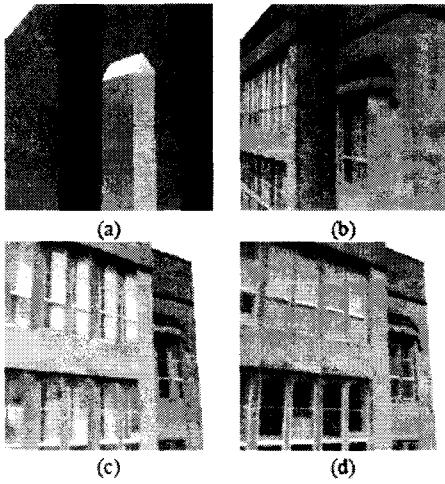


그림 22. 뷰 의존 텍스처 매핑 (37)

을 적용할 경우 발생하는 부자연스럽게 표현된 텍스처(그림 20-c의 창문 텍스처)를 제거함을 알 수 있다.

프리미티브 기반 모델링 방법은 상용화된 프로그램으로 개발되어 사용되고 있으며 이러한 프로그램으로는 canoma[38], photo3D[39], photo modeler[40], photobuilder[41] 등이 있다.

이 방법은 제공되는 기본 프리미티브만을 이용하여 모델링이 가능하기 때문에 상세한 환경을 모델링할 수 없으며 환경맵에 적용시 영상의 변형으로 인해 영상에서의 물체와 프리미티브를 매칭하기 어렵다.

4.4 소실점/소실선 기반 모델링

실세계의 영상에서는 두개의 평행한 직선이 투영 투사(projective projection)로 인해 한점에서 모이게 된다. 이러한 직선을 소실선(vanishing line)이라고 하고 소실선이 교차되어 생성되는 점을 소실점(vanishing point)이라고 한다. 영상에서 소실선과 소실선을 추출하여 낼 수 있다면 개괄적인 3차원 모델을 구성할 수 있다[42-44].

이러한 기술들 중에 대표적인 방법은 그림으로의 여행(TIP: Tour Into the Picture)이 있다[42]. 이 방법은 한 장의 영상으로부터 개략적인 3차원 모델의 구성이 가능하다. 그림 23과 같이 영상을 전경과 배경으로 분리한다. 전경이 제거된 배경영상의 구멍은 영상 편집기를 사용하여 채우게 된다. 배경 영상에 사용자 지정으로 소실점을 설정하여 영상을 5개의 영역으로 나누어 스파이더 메쉬를 구성하여 3차원 배경 모델을 구성한다. 분리된 전경 영상은 스프라이트(2차원 사각형)로 사용되며 그 위치는 기본메쉬와의 관계에 의해 계산되어진다. 새로운 시점의 영상은 스파이더 메쉬(배경 모델)와 스프라이트(전경 모델)를 이용하여 표현되어진다.

소실점 기반 방법은 소실점 기반으로 손쉽게 환경을 모델링할 수 있는 특징이 있으나 개략적인 모델만을 구성하므로 상세한 환경 표현에는 적합하지 않다.

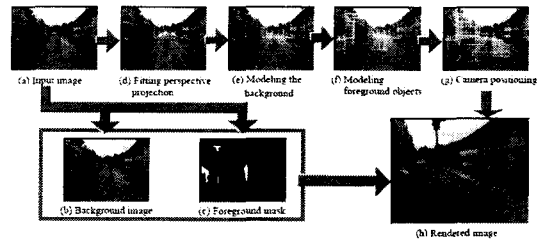


그림 23. 그림으로의 여행 (42)

5. 영상 기반 가속화

영상 기반 가속화 방법이란 전통적인 모델 기반 표현 기술을 바탕으로 실시간 렌더링을 위해 영상 기반 표현 기술을 혼합하여 사용하는 방법을 말한다[45-53]. 그림 24는 실시간 렌더링을 위해 시점에서의 거리에 따라 사용되는 영상 기반 프리미티브들을 보여주고 있다. 눈에서 가까이 있는

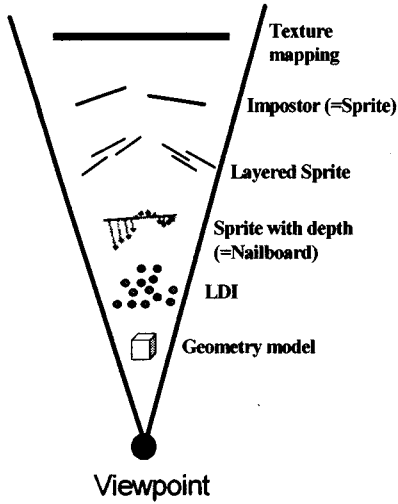


그림 24. 영상 기반 프리미티브

물체들은 상세히 표현할 수 있는 기하 모델로 표현하고 눈에서 멀리 떨어져 있는 물체들은 영상으로 대체시킨다. 가장 멀리 있는 물체에 대해서는 텍스처 매핑 방법을 이용하여 영상으로 대체시키고 좀더 가까운 경우 임포스터[45]로 물체를 세분화하여 나타낸다. 임포스터의 경우 임포스터 내부의 시차를 표현하지 못한다. 그러므로 시점이 더 가까운 경우에는 계층적 스프라이트[48,49], 깊이를 갖는 스프라이트[46], 계층적 깊이 영상(LDI)[26]를 사용하면 물체간의 시차를 표현할 수 있다.

포탈 텍스처 알고리즘[50]은 건물 내부를 셀(Cell)과 포탈(Portal)로 나누어 포탈을 통해 보이는 영상을 기하 물체로 표현하는 대신 한 장의 영상으로 대체하여 표현하는 방법을 말한다. 셀이란 건물 내부가 벽으로 구분되어 있는 공간(방)을 말하며 포탈이란 셀을 통해 보이는 부분(문, 창문)을 말한다. 그림 25-a는 현재 셀에서 포탈로 연결된 부분만을 표현한 모습이다. 회색으로 칠해진 부분이 실제 렌더링에서 처리되는 부분이다. 반면 그림 25-b는 포탈을 통해 보이는 부분을 포탈 텍스처로 나타낸 모습이다. 현재 셀(진하게 칠해진

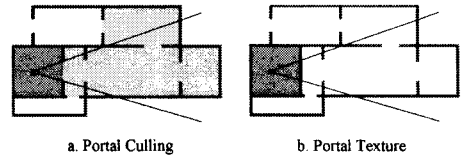
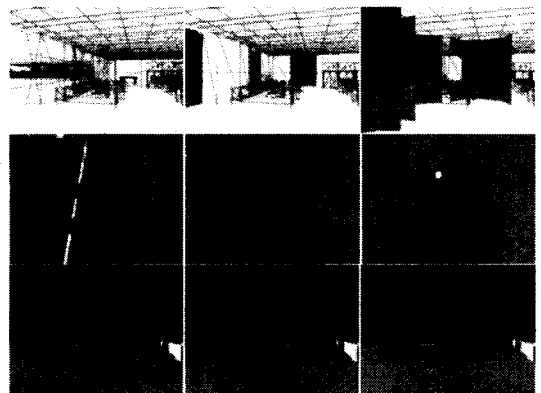


그림 25. 포탈 컬링 vs. 포탈 텍스처 [50]

부분)에 있는 포탈이 포탈 텍스처로 대체된다. 포탈 텍스처를 적용하는 방법에는 텍스처 매핑 방법[50], 이미지 와핑방법[51], LDI 방법[52], 환경맵 방법[53] 등이 있다. 그림 26은 실시간 가상 공간 탐색을 위해 영상 기반 가속화 방법중의 하나인 포탈 대체 알고리즘을 사용하여 나타낸 영상을 보여주고 있다. 그림 26-a는 기하 모델, 그림 26-b는 포탈 텍스처 알고리즘, 그림 26-c는 반실린더를 이용한 환경맵 알고리즘을 적용한 영상이다.

임포스터(Impostor)[45]란 물체를 둘러싼 바운딩 박스(bounding box)를 투영한 영상을 말하며 물체를 표현할 시 기하학적 모델을 사용하여 표현하는 것이 아니라 이러한 임포스터를 이용하여 나타낸다. 그림 27-a와 같이 기하 모델로 표현된 전등에 바운딩 박스를 씌운다. 물체가 시점에 가까우면 기하 모델로 표현하고 물체가 시점에서

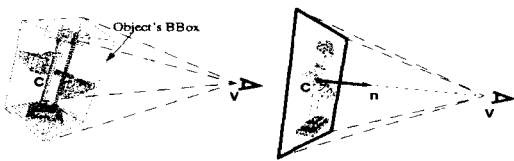


a. 기하 모델 b. 포탈 텍스처 c. 환경맵

그림 26. 포탈 텍스처 [53]

멀어지면 바운딩 박스의 중점과 시점을 연결한 방향으로 물체를 하나의 평면에 투영하여 임포스터를 생성한다(그림 27-b). 생성된 임포스터는 물체의 기하 모델을 대치하여 사용된다.

이러한 영상 기반 가속화 방법들은 실시간으로 가상 환경을 탐색할 수는 있으나 환경에 대한 전통적인 3차원 모델링 과정이 필요하며 현실감있는 탐색 영상을 생성하기 어렵다.



a. 3차원 물체                      b. 임포스터

그림 27. 임포스터의 생성 [45]

할 수 있다.

그림 28은 영상 기반 라이팅 방법을 이용하여 합성 물체를 추가하는 과정을 보여주고 있다. 먼저 합성 물체를 올려놓을 평면을 설정한다. 두 번째 영상은 실제 물체들을 보여주고 있고 세 번째 영상은 합성 물체들을 나타내고 있다. 오른쪽 영상은 실제 물체에 환경내의 조명을 적용한 합성 물체를 추가한 모습을 보여주고 있다. 그림 29는 영상 기반 라이팅 방법에 의해 실제 환경에서의 조명을 사용하여 렌더링한 영상을 보여주고 있다.



그림 28. 합성 물체의 추가 [55]

## 6. 영상 기반 라이팅

영상 기반 라이팅 방법은 2차원 영상으로부터 조명 정보를 추출하여 새로운 조명 환경을 생성하거나 새로운 합성물체에 환경내의 조명을 부여하여 사실적으로 추가 할 수 있는 방법을 말한다.

물체의 복잡도와 관계없이 인터랙티브하게 조명의 효과를 변경할 수 있기 때문에 실시간으로 조명변화가 요구되는 분야에 효과적으로 이용될 수 있다[54-59].

영상 기반 라이팅 방법의 근원은 Blinn이 제안한 반사 매핑 방법[54]이라 할 수 있다. 이러한 방법들 중 대표적인 기술로는 Debevec에 의해 제안된 영상 기반 라이팅 방법[55]을 들 수 있다. 이 방법은 HDRI(High Dynamic Range Image)를 이용하여 라이트 프로브(light Probe)로 전체 주변 환경을 기록하고 입사 래디언스를 측정하여 조명 환경을 재설정할 수 있도록 한다. 이 방법을 이용하면 합성 물체를 사실적으로 영상에 손쉽게 추가

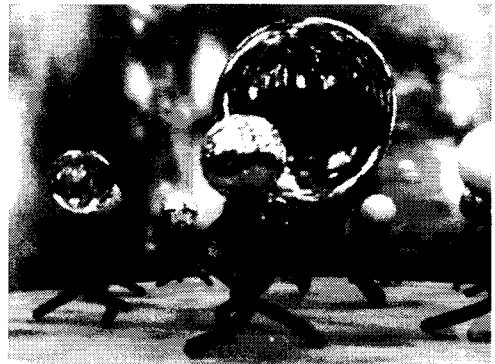


그림 29. 영상 기반 라이팅 영상 [60]

## 7. 결론

이 논문에서는 영상기반 표현 기술을 영상 기반 렌더링, 영상 기반 모델링, 영상 기반 가속화, 영상 기반 라이팅으로 구분하고 그 정의와 기본 기술에 대해 소개를 하였다.

영상 기반 표현 기술은 짧은 기간내에 획기적인 발전을 하고 있다. 이러한 기술들은 여러 응용 분야에 사용되어 지고 있으며 그중 영화(매트릭

스)에서 사용한 볼렛-타임 기법(Bullet Time)은 우리에게 깊은 인상을 주었다(그림 30). 볼렛 타임 기법은 카메라를 수십대를 설치하여 총알이 움직이는 것같이 빠른 시간에 영상들을 획득하는 방법을 말한다. 이렇듯 영상 기반 표현 기술은 영화, 게임, 멀티미디어 콘텐츠제작, 건축 및 실내 인테리어, 가상박물관과 같은 많은 응용분야에 사용되어질 수 있다.

그러나 여전히 도전해야 할 과제들이 많이 남아 있다. 보이지 않던 물체가 나타나게 되어 발생하는 가리움(occlusion), 시점 의존적 광학 현상, 입력 영상의 개수와 해상도에 의해 발생하는 샘플링 등과 같은 문제로 인해 실제 환경에서 완전한 모델을 구성하는 것은 아직까지 어렵다. 또한, 영상 기반 표현 기술을 이용한 렌더링은 빠르게 소프트웨어적으로 수행되지만 고화질의 영상을 생성하기 위해서는 영상 기반 하드웨어 가속화 연구가 필요하다.

앞으로는 지금까지 사용하던 카메라나 비디오와 다른 형태의 영상 기반 표현 기술에 적합한 디바이스가 개발되어 널리 보급될 것이고 이를 이용한 영상 기반 표현 기술의 활용분야가 더욱 넓어질 것이다. 영상 기반 표현 기술의 다음 단계로 정지 영상이 아닌 비디오 영상에 깊이 값을 추가한 연구가 수행될 것으로 예상된다.



그림 30. 영상 기반 표현 기술의 응용 (61)

영상 기반 표현 기술은 컴퓨터 그래픽스, 컴퓨터 비전, 신호 처리와 같은 여러 분야의 전문가들에 의해 연구되어지고 있다. 여러 분야의 전문가들이 서로 협동하여 연구한다면 영상 기반 표현 기술의 미래는 더욱 밝을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Leonard McMillan Jr, *An Image-Based Approach to three-dimensional computer graphics*, Ph.D. Dissertation, University of North Carolina, April 1997.
- [2] Sing Bing Kang, *A Survey of Image-based Rendering Techniques*, Technical Report, 1997.
- [3] Anders Gustafsson and Henrik Turbell, *Image-Based Rendering*, Linkoping University, Sweden, 1997.
- [4] Paul Debevec, Steven Gortler, Leonard McMillan, Richard Szeliski, Christoph Bregler, *Image-based Modeling and Rendering*, SIGGRAPH 98 Course 15, July 1998.
- [5] Jed Lengyel, *The Convergence of Graphics and Vision*, IEEE Computer, July 1998.
- [6] 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.
- [7] Oliveira, Manuel M, *Image-Based Modeling and Rendering Techniques: A Survey*, RITA - Revista de Informática Teórica e Aplicada, Volume IX, Number 2, pp. 37-66, October 2002.
- [8] C. Zhang and T. Chen, "A Survey on Image-Based Rendering - Representation, Sampling and Compression", Carnegie Mellon Technical Report: AMP03-03, 2003.
- [9] Adelson, E. H., and J. R. Bergen, *The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision*, Computational Models of Visual Processing,

- The MIT Press, Cambridge, Mass. 1991.
- [10] Leonard McMillan and Gary Bishop, Plenoptic modeling : An image-based rendering system. SIGGRAPH '95, pp 39-46.
- [11] Daniel Wood, Daniel Azuma, Wyvern Aldinger, Brian Curless, Tom Duchamp, David Salesin, Werner Stuetzle, **Surface Light Fields for 3D Photography**, Proceedings of SIGGRAPH 2000, 2000.
- [12] B. Wilburn, M. Smulski, H.-H. K. Lee and M. Horowitz, "The Light Field Video Camera", Proceedings of Media Processors 2002, SPIE Electronic Imaging 2002.
- [13] M. Levoy and P. Hanrahan, "Light field rendering", Computer Graphics (SIGGRAPH'96), August 1996, pp. 31-42.
- [14] S. J. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szeliski and M. F. Cohen, "The Lumigraph", Computer Graphics(SIGGRAPH'96), August 1996, pp. 43-54.
- [15] H.-Y. Shum and L.-W. He, "Rendering with concentric mosaics", Computer Graphics (SIGGRAPH'99), August 1999, pp.299-306.
- [16] J. Foote and D. Kimber, "FlyCam: Practical Panoramic Video", Proc. ICME'00, August 2000.
- [17] U. Neumann, T. Pintaric, A. Rizzo, "Immersive Panoramic Video", Proc. ACM Multimedia 2000, October 2000, pp. 493-494.
- [18] IPIX®, Internet Pictures Corp. <http://www.ipix.com/>
- [19] 360 One VRTM, Kaidan, <http://www.kaidan.com/>
- [20] TotalViewTM, BeHere Tech., <http://www.behere.com/>.
- [21] SeungTaek Ryoo, KyungHyun Yoon, "FullView Panoramic Navigation Using Orthogonal Cross Cylinder", WSCG 2002, Feb 2002.
- [22] **Paul Rademacher and Gary Bisho**, Multiple Center of Projection Images, Proc. SIGGRAPH '98, 1998
- [23] S. E. Chen, "QuickTime VR - An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation", Computer Graphics (SIGGRAPH'95), August 1995, pp. 29-38.
- [24] Shenchang Eric Chen and Lance Williams, View interpolation for image synthesis, SIGGRAPH '93, 1993, pp. 279-288.
- [25] S. M. Seitz and C. M. Dyer. **View Morphing**. Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pages 21-30, Proc. SIGGRAPH'96, August 1996.
- [26] J. W. Shade, S. J. Gortler, Liwei He, R. Szeliski, Layered Depth Images, Siggraph 1998, 1998.
- [27] D. Lischinski and A. Rappoport, "Image-Based Rendering for Non-Diffuse Synthetic Scenes", Rendering Techniques '98, Vienna, Austria, June 1998.
- [28] C. Chang, G. Bishop and A. Lastra, "LDI tree: A hierarchical representation for image-based rendering", Computer Graphics (SIGGRAPH'99), August 1999, pp. 291-298.
- [29] Oliveira, Manuel M. and Gary Bishop. Image-Based Objects. Proceedings of 1999, ACM Symposium on Interactive 3D Graphics. pp. 191-198.
- [30] Oliveira, Manuel M., Gary Bishop and David McAllister. Relief Texture Mapping. Proceedings of SIGGRAPH 2000. pp. 359-368.
- [31] C. Buehler, M. Bosse, L. McMillan, S. Gortler, and M. Cohen, "Unstructured Lumigraph rendering", Computer Graphics (SIG-GRAPH'01), August 2001, pp 425-432.
- [32] S. M. Seitz and C. R. Dyer, "Photorealistic Scene Reconstruction by Voxel Coloring", Proc. CVPR'97, San Juan, Puerto Rico, June 1997, pp. 1067-1073.
- [33] SeungTaek Ryoo, KyungHyun Yoon, "Orthogonal Cross Cylinder Using Segmentation Based Environment Modeling", CGGM'2002, pp 141-150, April 2002.
- [34] M. Pollefeys, Self-calibration and metric 3D reconstruction from uncalibrated image sequences, Ph.D. Thesis, ESAT-PSI, K.U.Leuven, 1999.



- [35] Paul Beardsley, Phil Torr and Andrew Zisserman, 3D Model Acquisition from Extended Image Sequences, ECCV96, pp 683-695, 1996.
- [36] 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.
- [37] Paul Debevec, Yizhou Yu, and George Borshukov, Efficient View Dependent Image Based Rendering with Projective Texture mapping, EG 1998.
- [38] Canoma. <http://www.canoma.com>
- [39] Apollo Software. <http://www.photo3d.com/eindex.html>
- [40] PhotoModeler. <http://www.PhotoModeler.com>
- [41] Roberto Cipolla, Duncan Robertson and Edmond Boyer. Photobuilder - 3D Models of Architectural Scenes from Uncalibrated Images. Conference on Multimedia Computing and Systems, June 1999. pp.25-31.
- [42] 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.
- [43] A. Criminisi, I. Reid, A. Zisserman, "Single View Metrology," Int. J. of Computer Vision, v.40, n.2, pp. 123-148, 2000.
- [44] 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.
- [45] Gernot Schaufler, *Dynamically Generated Impostors*, GI Workshop "Modeling - Virtual Worlds - Distributed Graphics", D.W.Fellner (Ed.), infix Verlag, November 1995, pp 129-135.
- [46] Gernot Schaufler, *Nailboards: A Rendering Primitive for Image Caching in Dynamic Scenes*, in Proceedings of the 8th Eurographics Workshop on Rendering '97, St. Etienne, France, June 16-18, 1997, pp 151-162.
- [47] Jed Lengyel and John Snyder, *Rendering With Coherent Layers*, SIGGRAPH 97, pp. 233-242.
- [48] Xavier Decoret, Gernot Schaufler, Francois Sillion, Julie Dorsey, "Multi-Layered impostors for accelerated rendering", *EuroGraphics '99*, Vol. 18, No. 3, 1999.
- [49] Francois Sillion, "Efficient Impostor Manipulation for Real-Time Visualization of Urban Scenery", *EuroGraphics '97*, 207-218, 1997.
- [50] Daniel G. Aliaga and Anselmo Lastra, "Architectural Walkthroughs Using Portal Textures", *IEEE Visualization '97*, 355-362, 1997.
- [51] Matthew M. Rafferety, Daniel G. Aliaga, Anselmo A. Lastra, "3D Image Warping in Architectural Walkthroughs", *VRAIS 98*, 228-233, March 1998.
- [52] Voicu Popescu, Anselmo Lastra, Daniel Aliga, Manuel de Oliveira Neto, "Efficient Warping for Architectural Walkthroughs using LDIs", *IEEE Visualization 98*, October 1998.
- [53] SeungTaek Ryoo, KyungHyun Yoon, "Real-time Walkthrough of Virtual Space using Environment Map", 6th International Conference on VSMM, pp 514-521, 2000.10.
- [54] Jim Blinn and Martin Newell, Texture and reflection in computer generated images, *Communications of the ACM*, 19: 456-547, 1976.
- [55] P. Debevec, *Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image based Graphics with Global illumination and High Dynamic Range Photography*, SIGGRAPH98, pp. 189-198, 1998.
- [56] Sato, Yoichi, Mark D. Wheeler, Katsushi Ikehuchi, Object Shape and Reflectance Modeling from Observation, SIGGRAPH97, pp. 379-387, 1997.
- [57] Yizhou Yu, P. Debevec, Jitendra Malik, Tim Hawkins, inverse Global Illumination: Recovering Reflectance Models of Real Scenes From Photographs, SIGGRAPH 99, pp. 215-224, 1999.

- [58] P. Debevec, Tim Hawkins, Chris Tchou, Haarm-Pieter Duiker, Westley Sarokin, Mark Sagar, Acquiring the Reflectance Field of a Human Face, SIGGRAPH2000, 2000.
- [59] Tien-Tsin Wong, Pheng-Ann Heng, Siu-Hang Or and Wai-Yin Ng, Illumination of Image-based Objects, Journal of Visualization and Computer Animation, Vol. 9, 1998, pp. 113-127.
- [60] P. Debevec, Rendering with Natural Light, SIGGRAPH 98 Electronic Theater, 1998.
- [61] The Campanile Movie, <http://www.debevec.org/Campanile/>



류 승 택

- 1996년 2월 중앙대학교 전자계산학과 공학사
- 1998년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학석사
- 2002년 8월 중앙대학교 영상공학과 컴퓨터그래픽스전공 공학박사
- 2002년 9월 중앙대학교 정보통신 연구원 연구 전담 교수
- 2004년 3월 한신대학교 소프트웨어학과 조교수
- 관심분야 : Image Based Rendering, Realtime Rendering, 3D Terrain Modeling
- E-mail : stryoo@hs.ac.kr