

환경맵 기반 디스페리티

류 승 택^{*}

요 약

본 논문에서는 실제 환경에서 획득된 환경맵으로부터 물체의 깊이값을 결정하기 위한 방법으로 환경맵 기반 디스페리티 방법을 제안한다. 이 방법은 일반영상의 디스페리티 방법을 환경맵에 적용하기 위해 개발한 알고리즘으로 두장의 시차를 갖는 환경맵으로부터 환경맵 기반 디스페리티를 이용하여 깊이값을 추출한다. 이 방법을 이용하여 획득된 물체가 화면에 나타나는지 또는 다른 물체에 의해 가리워졌는지를 판단할 수 있다. 또한, 제안된 방법을 사용함으로써 참조평면에 관련되지 않는 물체(공중에 떠있는 경우)의 깊이값을 유추해 낼 수 있으며 개괄적인 환경모델을 구성할 수 있다.

Environment Map Based Disparity

Ryoo, Seung Taek^{*}

ABSTRACT

In this paper, we suggest the environment based disparity method that calculate the depth value of the objects from environment maps. This method using the disparity of the environment map can calculate the depth value from two environment map that acquire at different viewpoint. This method can decide the visibility of the object whether it is occluded others or not. Also, we can analogize the depth value of the object that does not relate the reference plane(in case of being in the air) and make three dimensional environment model using the proposed method

Key words: Image Based Modeling(영상기반 모델링), 3D Reconstruction(3차원 재구성), Environment Map(환경 맵), Disparity(디스페리티)

1. 서 론

전통적인 3차원 그래픽스 기술을 사용하여 실제 환경을 표현하기 위해서는 다수의 다각형들로 3차원 모델들을 많은 노력을 들여 구성하여야 하고 현실세계의 현상을 시뮬레이션하기 위해 완전 조명 모델같은 계산 시간을 많이 요구하는 알고리즘이 필요하다. 최근에는, 고비용이 드는 이러한 접근 방법 대신 실제 2차원 사진들을 이용하여 깊이값 추출통해 3차원 물체를 모델링 하고 환경 매핑하여 사용하는 영상기반 모델링 기술이 연구되어지고 있다. 이 방법은 모

델을 구성하기 위해 들이는 비용을 줄여주고 고비용의 렌더링 알고리즘대신 실제 사진을 이용함으로써 현실감있는 환경을 제공한다는 특징을 가지고 있다.

영상기반 모델링 기술에서 모델들의 깊이값을 추출 방법에는 사진 계측(photogrammetric)기반 모델링 방법[1], 매칭 알고리즘을 통해 구해진 디스페리티(disparity)를 이용한 모델링 방법[2, 3], 소실점을 이용한 환경 모델링 방법[4]등이 있다. 디스페리티를 이용한 방법은 자세한 3차원 모델을 구성할 수 있으나 스테레오 영상이 필요하며 영상에서 일치점을 찾기 위해 높은 비용을 들여야하는 문제를 가지고 있

* 교신저자(Corresponding Author) : 류승택, 주소: 경기도 오산시 양산동 411번지(447-791), 전화: 031)370-6439, FAX: 02)370-6439, E-mail: sryoo@hs.ac.kr
접수일: 2004년 8월 20일, 완료일: 2005년 8월 3일

^{*} 정회원, 한신대학교 소프트웨어학과 조교수
※ 이 논문은 2005년도 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

다. 소실점 기반 방법은 소실점 기반으로 손쉽게 환경을 모델링할 수 있으나 개략적인 모델만을 구성하므로 상세한 환경 표현이 어렵다. 사진 계측 기반 모델링 방법은 원시 모델(primitive)을 기반으로 구성된 물체들의 연관 관계에 의해 점차적으로 상세한 3차원 환경 모델을 구성할 수 있으나 환경맵에 적용시 영상의 변형으로 인해 영상에서의 물체와 프리미티브를 매칭하기 어렵다.

환경 맵을 사용할 시에는 다른 접근 방법이 필요하다. 본 논문에서는 환경맵에서 깊이값을 추출하기 위해 디스페리티를 이용한 깊이값 획득 방법을 제안한다. 제안된 방법은 두장의 시차를 갖는 환경맵으로부터 환경맵 기반 디스페리티를 이용하여 깊이값을 추출한다. 이 방법을 이용하여 획득된 물체가 화면에 나타나는지 또는 다른 물체에 가리워 졌는지를 판단할 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 일반 디스페리티 방법과 환경맵 기반 디스페리티 방법을 비교하여 설명한다. 또한, 스테레오 영상의 제약 조건을 일반화한 환경맵 기반 디스페리티 알고리즘을 소개한다. 마지막으로, 제안된 방법에 의해 생성된 결과 영상을 보이고 앞으로의 연구방향에 대해 알아보기로 한다.

2. 관련 연구

2.1 환경 매핑

환경 매핑이란 영상에 텍스처 매핑 방법을 사용하여 사실감을 주는 방법이다. 이 방법은 윤이 나는 물체가 주변 환경을 반사하는 현상을 값비싼 레이 트레이싱대신 나타낼 수 있도록 처음에 소개되었다[5]. 영상 기반 렌더링에서는 주변 환경을 표현하기 위해 반사 물체를 가상 관찰자로 대치하고 관찰자의 시역에 교차되는 환경맵의 일부분을 2차원 투사를 통해 표현하도록 사용하였다[6]. 환경 매핑은 텍스처 맵을 계산하는 전처리 과정과 모델을 렌더링하는 동안 환경맵으로부터 텍셀을 샘플링하는 과정으로 나누어진다. 환경맵은 3차원 공간을 2차원 평면에 투사하는 과정을 통하여 표현된다. 환경맵을 투사하여 표현하는 방법에는 구면 매핑[7], 육면체 매핑[8], 포물면 매핑[9], 위도 매핑[5], 원통 매핑[10], 팔면 매핑[11] 등이 있다(그림 1). 앞에서 언급한 환경맵들 중 실린더 맵은 가장 일반적으로 사용되는 환경맵으로 윗면과 아랫 면에 대한 환경을 저장할 수 없어 경계가 나타난다는 단점을 가지고 있으나 환경 샘플들을 획

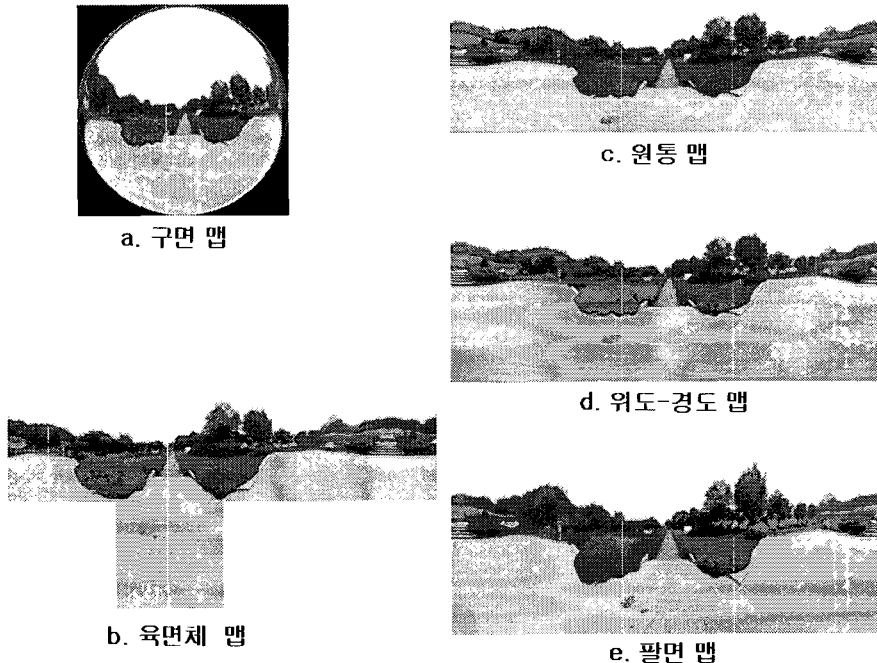


그림 1. 환경맵의 종류

특하기 쉽고 간단하게 평면맵으로 변환할 수 있으며 수평으로 전 방향을 저장할 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한, 실린더맵은 일반 디스페리티 방법을 환경맵 기반 디스페리티 방법으로 손쉽게 변환하여 사용할 수 있다. 이러한 이유로 본 논문에서는 실린더맵을 제안된 방법의 환경맵으로 사용하였다.

2.2 환경맵을 이용한 3차원 재구성

파노라마 영상을 이용하여 환경을 모델링하는 방법들에는 소실점을 이용한 방법[12-14]과 다중 환경맵을 이용하여 상호 관계를 설정하는 방법[10,15] 등이 있다. 첫 번째 방법은 소실점을 이용하여 환경을 모델링하므로 상세한 환경 모델을 얻기 힘들다. 다음 방법은 여러 장의 환경맵이 필요하며 관계 설정을 위해 많은 비용이 드는 문제점을 가지고 있다.

한 장의 환경맵만을 가지고 전체 환경을 재구성하는 것은 매우 어려운 일이다. 참조평면에 관련되어 있지 않은 물체의 경우, 즉 공중에 떠있는 물체의 경우에는 그 깊이값을 알아낼 수 없다. 이를 위해서는 다른 참조영상의 사용이 불가피하다. 본 논문에서는 환경맵으로부터 물체의 깊이값을 결정하기 위해 환경맵 기반 디스페리티 방법을 제안한다. 이 방법은 일반영상의 디스페리티 방법을 환경맵에 적용하기 위해 개발한 알고리즘이다. 제안된 방법을 사용함으로써 참조평면에 관련되지 않는 물체의 깊이값을 유추해 낼 수 있으며 개괄적인 환경을 구성할 수 있다.

3. 스테레오 영상에서의 깊이값 획득

3.1 일반영상에서의 깊이값 획득

디스페리티(disparity)란 두장의 스테레오 영상에서 일치점의 픽셀 차를 말한다[16]. 깊이값과 디스페리티값에 대한 상관관계를 알아보면 그림 2와 같다. 각 영상의 투사 중심점(COP) O_l 과 O_r 을 연결한 선분 $\overline{O_l O_r}$ 을 베이스 라인(T)이라고 하고 영상의 중심점(c_l, c_r)에 대한 일치점(p_l, p_r)의 좌표를 x_l, x_r 이라고 하자. 또한, 영상의 초점 거리를 f 라고하고 베이스라인 T 와 실제 3차원 좌표의 위치 P 의 최단거리를 깊이값 Z 라고 하자. $\Delta p_l p_r$ 과 $\Delta O_l P O_r$ 의 삼각형 대응 공식을 사용하면 일치점으로부터 깊이값(Z)을 알아낼 수 있다.

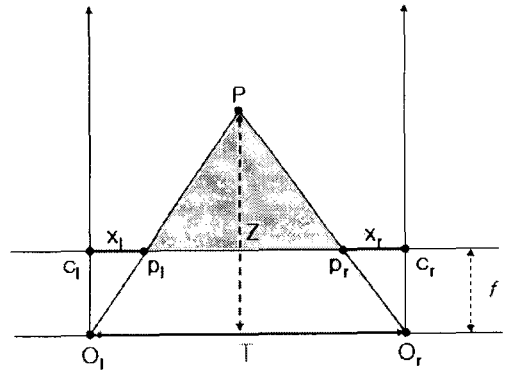


그림 2. 디스페리티를 이용한 깊이값 계산

$$\frac{T-x_l+x_r}{Z-f} = \frac{T}{Z} \quad Z = f \frac{T}{d} \quad \therefore d = x_l - x_r \quad (1)$$

유도된 수식 1에 의해 깊이값(Z)은 초점거리(f)와 베이스라인(T)에 비례하며 디스페리티 값(d)에 반비례한다.

3.2 실린더 맵에서의 깊이값 획득

3.2.1 일반적인 경우

스테레오 영상을 이용한 깊이값 계산은 환경맵의 특성 때문에 디스페리티 방법을 바로 적용하기 어렵다. 환경맵에 적용하기 위해서는 일반영상과 환경맵에서의 깊이값 계산 방법의 차이점을 살펴보아야한다(표 1). 본 논문에서는 환경맵의 디스페리티를 이용하여 깊이값을 구하기 위해 실린더 영상을 사용한다.

표 1. 일반영상과 환경맵의 차이점

일반 영상	<ul style="list-style-type: none"> · 각 영상의 시각 평면은 하나의 평면상에 놓인다 · 3차원 공간상에 있는 점 P의 깊이값 Z는 베이스라인 T에서부터 P까지의 최단거리로 나타낸다. · 두 영상에서의 깊이값은 서로 같다.
실린더 영상	<ul style="list-style-type: none"> · 각 영상의 시각 평면은 하나의 실린더 상에 놓인다. · 깊이값 Z는 각 영상의 투사중점(O_l 혹은 O_r)에서부터 P까지의 거리로 나타낸다. · 두 영상에서의 깊이값은 투사중점에 따라 서로 상대적이다.

이러한 차이점으로 인해 일반 영상의 디스퍼티를 이용한 깊이값 계산 방법을 실린더 영상에 맞게 변형해야 한다. 특히 각 영상의 픽셀에서의 깊이값은 베이스라인에서부터 P까지의 최단거리가 아닌 각 실린더의 중점으로부터 P까지의 거리로 나타내어야 한다. 일반영상에서의 깊이값은 각 영상에서의 동일하게 구해낼 수 있지만 각 실린더 영상에서의 깊이값은 서로 다르게 나타난다. 먼저 스테레오 실린더 영상의 관계에 대해 살펴보기로 하자. 그림 3과 같이 각 실린더 영상의 원점을 O, 실린더 영상의 시작점을 c, 일치점을 p라 하고 각 실린더의 원점을 연결한 선분을 T, 일치점에 해당하는 3차원 점을 P, 베이스라인 T에 점 P를 직교 투사한 점을 B, 베이스 라인(T)과 점 P의 최단 거리를 Z라 하자. 또한, 점 B에 의해 이분된 베이스 라인 T중 선분 $\overline{O_1B}$ 의 길이를 U_l , $\overline{O_2B}$ 의 길이를 U_r 라 하자. U_l (U_r)은 실린더 영상의 원점(O)에서 오른쪽으로 지날 경우 양의 길이를 갖고 왼쪽으로 지날 경우 음의 길이를 갖는다. 그러므로 베이스라인(T)의 길이는 $T=U_l-U_r$ 로 나타내어지고 $\angle pOb_l$, Θ ($\angle pOb_r$, Φ)는 실린더 영상에서의 일치좌표 p_l (p_r)의 범위에 따라 다음과 같이 유도된다.

ΔpOb_l 과 ΔPO_1B , ΔpOb_r 과 ΔPO_2B 의 관계에 의해 다음과 같은 수식으로 유도된다.

$$\frac{\overline{O_1b_l}}{b_l p_l} = \frac{\overline{O_1B}}{BP} \rightarrow \frac{R \cos \Theta}{R \sin \Theta} = \frac{U_l}{Z} \rightarrow Z = U_l \tan \Theta$$

$$\frac{\overline{O_2b_r}}{b_r p_r} = \frac{\overline{O_2B}}{BP} \rightarrow \frac{R \cos \Phi}{R \sin \Phi} = \frac{U_r}{Z} \rightarrow Z = U_r \tan \Phi \quad (2)$$

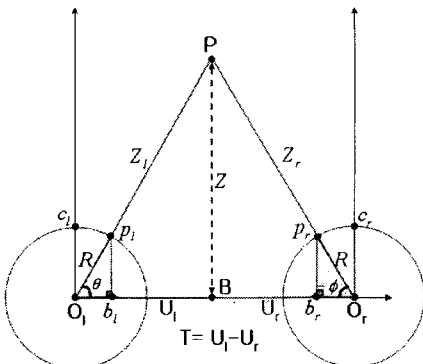


그림 3. 두 실린더 영상의 관계에 의한 깊이값 계산 (실린더 위에서 내려본 영상)

표 2. 실린더 영상의 일치좌표와 사이각의 관계

범 위	사이각 ($\angle pOb$)	비 고
$0 < p \leq \frac{\pi}{2} R$	$\frac{\pi}{2} - \frac{p}{R}$	양의 값
$\frac{\pi}{2} R < p \leq \pi R$	$\frac{p}{R} - \frac{\pi}{2}$	양의 값
$\pi R < p \leq \frac{3}{2} \pi R$	$\frac{p}{R} - \frac{3}{2} \pi$	음의 값
$\frac{3}{2} \pi R < p \leq 2\pi R$	$\frac{3}{2} \pi - \frac{p}{R}$	음의 값

수식 2와 베이스라인($T=U_l-U_r$)의 관계에 의해 깊이값(Z)은 수식 3과 같이 나타내어진다.

$$U_l = \frac{\tan \Theta}{\tan \Theta - \tan \Phi} T \quad U_r = \frac{\tan \Theta}{\tan \Theta - \tan \Phi} T$$

$$Z = \frac{\tan \Theta \tan \Phi}{\tan \Theta - \tan \Phi} T \quad (3)$$

위의 수식을 단순화하기 위해 코탄젠트 공식에 의해 표현하면

$$Z = \frac{1}{\cot \Theta - \cot \Phi} T \quad (4)$$

과 같이 유도된다. 수식 2를 이용하여 일치점의 값 p_l , p_r 으로 수식 4를 표현하면

$$Z = \frac{1}{\left| \tan \frac{p_l}{R} - \tan \frac{p_r}{R} \right|} T \quad (5)$$

과 같이 나타내어진다. 이렇게 계산된 깊이값은 앞에서 설명했던 실린더 영상의 특성 때문에 실린더 영상에서의 깊이값으로 사용할 수 없다. 실제 실린더 영상에서의 깊이값, 즉 실린더 영상의 원점 O에서부터 P까지의 거리는 다음과 같이 계산되어진다.

$$Z_l = \frac{Z}{|\sin \Theta|} \rightarrow Z_l = \frac{T}{(\cot \Theta - \cot \Phi) \sin \Theta}$$

$$Z_r = \frac{Z}{|\sin \Phi|} \rightarrow Z_r = \frac{T}{(\cot \Theta - \cot \Phi) \sin \Phi} \quad (6)$$

3.2.2 예외적인 경우

일반적인 실린더 영상의 깊이값은 수식 6에 의해 구할 수 있으나, Θ 나 Φ 가 90° 일 경우에는 고려할 사항이 필요하며 Θ 나 Φ 가 0° 경우에는 실린더 영상의 깊이값을 위 수식에 의해 구할 수 없다. 먼저 Θ 나

ϕ 가 90° 인 경우를 살펴보면 다음과 같다. $\cot(90)$ 인 경우에는 0이 나오므로 이 값을 수식 4에 대입하면 수식 7이 구해진다. 또한, 그림 4에서와 같이 삼각형의 공식에 의해 Z값이 유도된다.

$$\begin{aligned} \theta=90^\circ \text{인 경우 } \frac{-R\sin\phi}{R\cos\phi} &= \frac{Z}{T} \quad Z=-\tan\phi T \\ \phi=90^\circ \text{인 경우 } \frac{R\sin\theta}{R\cos\theta} &= \frac{Z}{T} \quad Z=\tan\theta T \end{aligned} \quad (7)$$

수식 7에 의해 각 실린더 영상의 일치점의 깊이값 (Z_i, Z_r)을 구하면 수식 8와 같다.

$$\begin{aligned} \theta=90^\circ \text{인 경우 } Z_i=Z_r &= -\tan\phi T \quad Z_i=Z_r = -\frac{T}{\sin\phi} = -\frac{T}{\cos\phi} \\ \phi=90^\circ \text{인 경우 } Z_i=Z_r &= \frac{T}{\sin\theta} = \frac{T}{\cos\theta} \quad Z_i=Z_r = \tan\theta T \end{aligned} \quad (8)$$

p_i 과 p_r 이 베이스 라인 선상에 있을 경우 3차원 공간상의 점 P 역시 베이스라인 위에 놓이게 된다. 이

러한 경우 θ 와 ϕ 는 0° 이 되고 깊이값(Z)은 0을 가지므로 각 실린더 영상의 일치점의 깊이값(Z_i, Z_r)은 유도하여 낼 수 없다(그림 5).

환경맵 기반 디스퍼티 방법에 의해 베이스 라인 상에 있는 점의 깊이값은 구해 낼 수 없으며 또한 깊이를 구할 점이 베이스 라인에 가까울수록 깊이값의 변화가 크고 멀수록 깊이값 변화가 작아지는 비선형적인 형태를 갖는다. 그러므로 베이스 라인에서 가까운 부분에서도 깊이값이 선형적인 변화를 갖도록 하는 깊이값 보정 단계가 향후 연구로 필요하다.

4. 비 스테레오 영상에서의 깊이값 계산

4.1 일반 영상

스테레오 영상은 왼쪽 눈과 오른쪽 눈의 영상을 말하므로 일치점들의 픽셀 차를 알아보면 Y축으로는 변함이 없고 X축으로 변한다. 이러한 스테레오

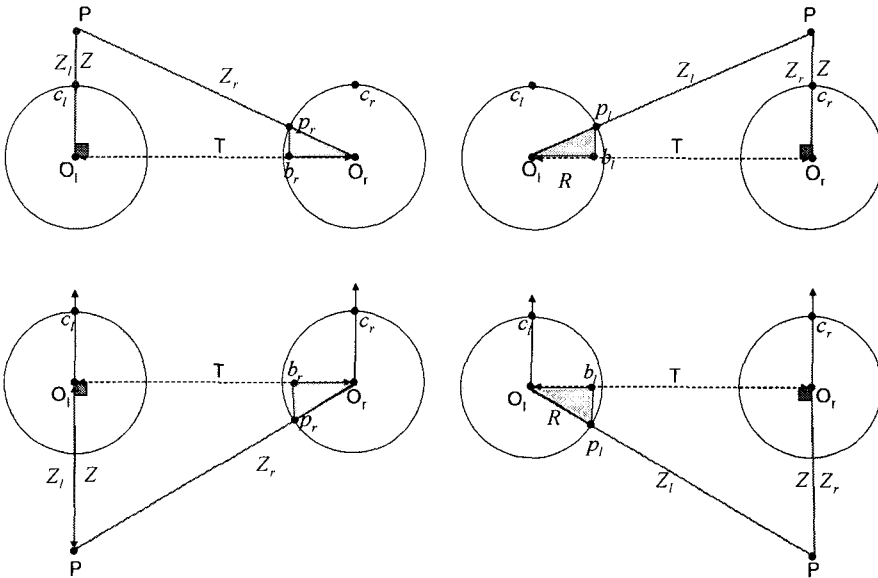


그림 4. θ 나 ϕ 가 90° 인 경우

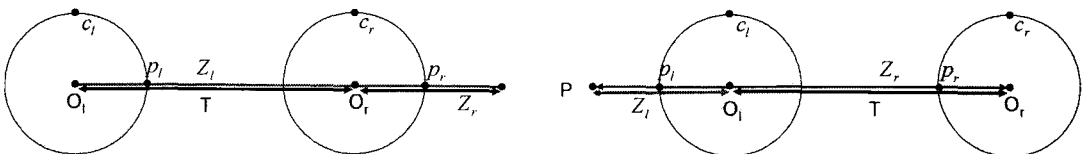


그림 5. θ 와 ϕ 가 0° 인 경우

영상의 경우 깊이값은 x값의 차이 즉, 디스페리티 값에 의해 $Z=f\frac{T}{d}$ (수식 1)과 같이 구해진다.

비 스테레오 영상의 경우는 X축과 Y축 모든 방향으로 일치점의 픽셀 차가 존재한다. 이러한 경우의 깊이값을 알아보면 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 각 영상의 투사중점을 O_1, O_2 , 영상의 투사 중점에 대한 일치점의 영상 좌표를 d_1, d_2 이라고하고 영상의 초점거리를 f , 일치점에 해당하는 3차원 점을 P , 각 영상의 투사중점을 연결한 선분을 T , 베이스 라인과 3차원 점 P 의 최단거리를 Z 라고 하자. 영상 1을 기준으로 영상 2를 XZ 평면과 YZ 평면으로 투영하여 표현할 때 투사중점 O_2 를 XZ평면과 YZ평면으로 투영한 투사중점을 O_{2x}, O_{2y} , 3차원 점 P 를 P_x, P_y , 베이스라인 T 를 T_x, T_y , d_1 을 x_1, y_1 , d_2 를 x_2, y_2 이라고 하자. 또한, 깊이값(Z)은 $\triangle O_1O_2P$ 를 XZ 평면으로 투영한 $\triangle O_1O_{2x}P_x$ 에서 Z_x 의 값과 같고 $\triangle O_1O_2P$ 를 YZ 평면으로 투영한 $\triangle O_1O_{2y}P_y$ 에서 Z_y 의 값과 같다. 그러므로, 깊이값(Z)은 수식 9와 같이 유도된다.

$$Z=f\frac{T_x}{d_x}=f\frac{T_y}{d_y} \quad \because d_x=x_2-x_1, \quad d_y=y_2-y_1$$

$$Z=f\frac{\sqrt{T_x^2+T_y^2}}{\sqrt{x_2^2+y_2^2}-\sqrt{x_1^2+y_1^2}}=f\frac{T}{d}$$

$$\therefore T=\sqrt{T_x^2+T_y^2}, \quad d=d_2-d_1=\sqrt{x_2^2+y_2^2}-\sqrt{x_1^2+y_1^2} \quad (9)$$

스테레오 영상과 마찬가지로 비스테레오 영상에서의 깊이값은 초점거리(f)와 베이스라인(T)에 비례하며 디스페리티 (일치점의 픽셀이 원점으로부터 이동한 길이 값의 차)에 반비례한다.

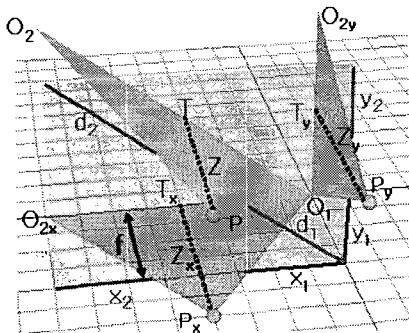


그림 6. 비 스테레오 영상의 깊이 계산

4.2 실린더 영상

실린더 영상으로 구성된 실린더 좌표를 (ρ, θ) 라고 설정하고 이때 ρ 는 실린더의 구좌표를 나타내며 θ 는 실린더의 높이값을 나타낸다. 첫 번째 실린더 좌표를 (ρ_1, θ_1) 이라고 두 번째 실린더 좌표를 (ρ_2, θ_2) 라고 하고 첫 번째 실린더 영상의 투사중점 O_1 , 두 번째 실린더 영상의 투사중점 O_2 , 대응점에 대한 실제 3차원 좌표를 P 라 하자(그림 7).

실린더 좌표 ρ 의 차이를 통해 깊이값 Z 를 구하여 보자. 먼저, 각 실린더의 투사중점과 실제 3차원 좌표를 연결하여 구성된 $\triangle O_1O_2P$ 를 XZ 평면으로 투영한다. 그림 8에서 보듯이 실린더 맵의 원점을 XZ 평면에 투영한 점을 c_x , 베이스라인을 투영한 라인을 T_x , 실제 대응점의 3차원 좌표 P 를 투영한 점을 P_x , 실린더의 반지름을 R , 실린더 맵에서 일치점의 픽셀 좌표를 p_x , 실린더 맵의 투영 원점 c_x 에 수직인 평면에 투영한 점을 p'_x , 실린더 맵의 투영 원점 c_x 으로부터 일치점 p_x 까지의 거리를 t_x , 실린더 맵의 투영 원점 c_x 으로부터 투영점 p'_x 까지의 거리를 x_x 라 하고 투영한 베이스라인 T_x 로부터 대응점 P_x 까지의 최단거리를 Z , 투사중점으로부터 대응점 P_x 까지의 거리를 Z_x 라고

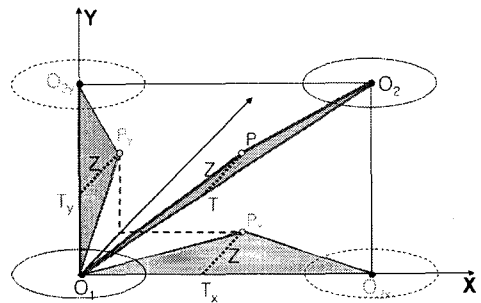


그림 7. 실린더 영상에서의 깊이값의 계산

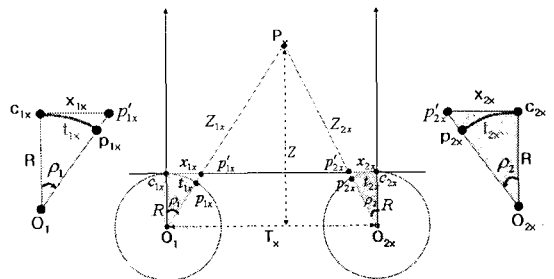


그림 8. XZ 평면 투영을 통한 깊이값 계산

하자. 이렇게 투영된 $\triangle O_1O_2P_x$ 는 앞장에서 알아본 그림 3에서 유도된 수식과 같은 수식으로 유도된다.

실제 실린더 맵의 원점에서부터의 일치점까지의 거리(t_x)는 다음과 같이 나타내어 진다.

$$t_{1x} = R\rho_1, \quad t_{2x} = R(2\pi - \rho_2) \quad (10)$$

실린더맵의 원점에서부터 투영점 p'_x 까지의 거리 x_{1x} (x_{2x})는 삼각형 $\triangle O_1C_{1x}p'_{1x}$ ($\triangle O_{2x}C_{2x}p'_{2x}$)에 의해 다음과 같이 나타내어 진다.

$$\begin{aligned} x_{1x} &= R \tan \rho_1 = R \tan \frac{t_{1x}}{R}, \\ x_{2x} &= R \tan (2\pi - \rho_2) = -R \tan \frac{t_{2x}}{R} \end{aligned} \quad (11)$$

그러므로 깊이값 Z 는 수식 11에 의해 아래와 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} Z &= R \frac{T_x}{d} \quad d = x_{1x} - x_{2x} = R(\tan \rho_1 - \tan \rho_2) \\ Z &= \frac{T_x}{\tan \rho_1 - \tan \rho_2} \end{aligned} \quad (12)$$

수식 12는 앞에서 유도한 스테레오 환경 맵 기반 디스퍼러티에 의한 수식 5와 같은 결과를 유도한다. 수식 5에서의 사이각(θ, ϕ)과 수식 12에서의 사이각(ρ_1, ρ_2)의 관계는 $\rho_1 = \frac{\pi}{2} - \theta$ 이고 $\rho_2 = \frac{\pi}{2} - \phi$ 이므로 수식 12에서 구한 깊이값은 수식 5와 동일한 결과를 보인다. 또한, 각 실린더 영상의 투사중점에서 P_x 까지의 거리(Z_{1x}, Z_{2x})는 수식 13에 의해 다음과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} Z_{1x} &= \left| \frac{Z}{\sin \rho_1} \right| \rightarrow Z_{1x} = \left| \frac{T_x}{(\tan \rho_1 - \tan \rho_2) \sin \rho_1} \right| \\ Z_{2x} &= \left| \frac{Z}{\sin \rho_2} \right| \rightarrow Z_{2x} = \left| \frac{T_x}{(\tan \rho_1 - \tan \rho_2) \sin \rho_2} \right| \end{aligned} \quad (13)$$

다음으로, 실린더 좌표 ρ 값의 차이를 통해 깊이값 (Z)을 구하는 방법에 대해 알아보자. $\triangle O_1O_2P$ 를 YZ 평면으로 투영한다(그림 9). 실린더 맵의 원점을 YZ 평면에 투영한 점을 c_y , 베이스라인을 투영한 라인을 T_y , 실제 대응점의 3차원 좌표 P 를 투영한 점을 P_y , 실린더의 반지름을 R , 실린더 맵에서 일치점의 픽셀 좌표값을 p_y , 실린더맵의 투영 원점 c_y 으로부터 일치점 p_y 까지의 거리를 v 라하고 베이스라인 T_y 로 부터 대응점 P_y 까지의 최단거리를 Z , 투사중점으로부터 대

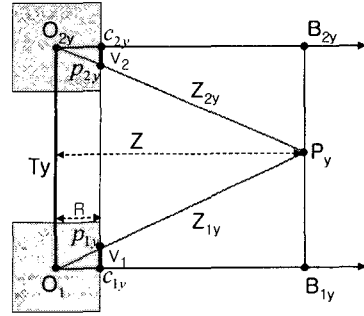


그림 9. YZ 평면 투영을 통한 깊이값 계산

응점 P_y 까지의 거리를 Z_y 라고 하자. 이렇게 투영된 $\triangle O_1O_2P_y$ 는 앞 장에서 설명한 그림 2와 같은 형태를 가진다. 그러므로 깊이값(Z)은 수식 1에 의해 다음과 같이 나타내어 진다.

$$\frac{T_y - v_1 + v_2}{Z - R} = \frac{T_y}{Z} \quad Z = R \frac{T_y}{d_y} \quad \therefore d_y = v_1 - v_2 \quad (14)$$

각 실린더 영상의 투사중점에서 P_y 까지의 거리 (Z_{1y}, Z_{2y})는 $\triangle O_{1y}p_{1y}c_{1y}$ 와 $\triangle O_{1y}PB_{1y}$, $\triangle O_{2y}p_{2y}c_{2y}$ 와 $\triangle O_{2y}PB_{2y}$ 의 관계에 의해 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} \frac{p_{1y}O_1}{R} = \frac{Z_{1y}}{Z} \quad Z_{1y} &= Z \frac{\sqrt{v_1^2 + R^2}}{R} \quad \therefore p_{1y}O_1 = \sqrt{v_1^2 + R^2} \\ \frac{p_{2y}O_2}{R} = \frac{Z_{2y}}{Z} \quad Z_{2y} &= Z \frac{\sqrt{v_2^2 + R^2}}{R} \quad \therefore p_{2y}O_2 = \sqrt{v_2^2 + R^2} \end{aligned} \quad (15)$$

윗 수식에 수식 14에서 구한 깊이값을 대입하여 다음과 같이 간략화된 수식을 얻는다.

$$\begin{aligned} Z_{1y} &= R \frac{T_y}{d_y} \frac{\sqrt{v_1^2 + R^2}}{R} = \frac{T_y}{d_y} \sqrt{v_1^2 + R^2} \\ Z_{2y} &= R \frac{T_y}{d_y} \frac{\sqrt{v_2^2 + R^2}}{R} = \frac{T_y}{d_y} \sqrt{v_2^2 + R^2} \end{aligned} \quad (16)$$

수식 12와 수식 14에 의해 표현된 깊이값 Z 를 수식 9와 같은 형태로 $\triangle O_1O_2P$ 에서 구하면 다음과 같은 관계식으로 나타내어 진다.

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\sqrt{T_x^2 + T_y^2}}{\sqrt{R^2 \tan^2 \rho_2 + v_2^2} - \sqrt{R^2 \tan^2 \rho_1 + v_1^2}} \quad R = \frac{T}{d} R \\ \therefore T &= \sqrt{T_x^2 + T_y^2}, \\ d &= d_2 - d_1 = \sqrt{R^2 \tan^2 \rho_2 + v_2^2} - \sqrt{R^2 \tan^2 \rho_1 + v_1^2} \end{aligned} \quad (17)$$

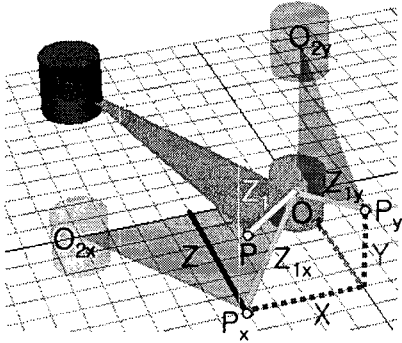


그림 10. 실린더 영상에서의 투사중점으로부터 P까지의 거리 계산

마지막으로 각 실린더 영상의 투사중점에서 P까지의 거리, 즉 실제 실린더 영상의 깊이값(Z_1, Z_2)은 그림 10에서 볼 수 있듯이 $Z_{1x}(Z_{2x}), Z_{1y}(Z_{2y})$ 와 Z의 아래와 같은 관계에 의해 계산된다.

$$Z_1^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 = Z_{1x}^2 + Z_{1y}^2 - Z^2$$

$$\therefore Z_{1x}^2 = Z^2 + X^2, Z_{1y}^2 = Z^2 + Y^2$$

$$Z_1 = \sqrt{Z_{1x}^2 + Z_{1y}^2 - Z^2} \quad Z_2 = \sqrt{Z_{2x}^2 + Z_{2y}^2 - Z^2} \quad (18)$$

수식 18에 수식 13과 수식 16을 대입하여 간략화하면 실제 실린더의 깊이값(Z_1, Z_2)은 깊이값(Z), 실린더의 반지름 값(R), 실린더 좌표계 (ρ_1, ν_1)와 (ρ_2, ν_2)를 이용하여 다음과 같이 유도된다.

$$Z_1 = \frac{\sqrt{R^2 + \nu_1^2 \sin^2 \rho_1}}{R \sin \rho_1} Z \quad Z_2 = \frac{\sqrt{R^2 + \nu_2^2 \sin^2 \rho_2}}{R \sin \rho_2} Z \quad (19)$$

앞장에서 살펴봤듯이 ρ_1 와 ρ_2 가 베이스 라인(T) 선상에 있을 경우 3차원 공간상의 점 P 역시 베이스

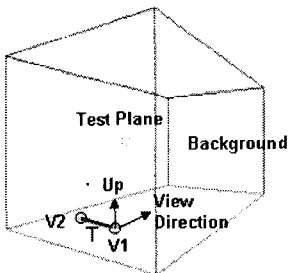
라인 위에 놓이게 되어 깊이값(Z)을 구할 수 없다. 이렇게 ρ_1 과 ρ_2 의 값이 90을 갖는 경우(앞장에서는 θ 과 ϕ 의 값이 0을 갖는 경우) 각 실린더의 깊이값 Z_1 과 Z_2 을 구할 수가 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 추가적인 정보(또다른 환경맵이나 깊이정보)를 통한 깊이값 보정에 대한 연구가 필요하다.

5. 구현 결과

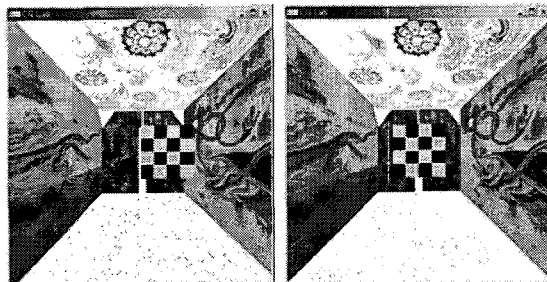
본 논문에서는 제안된 환경맵 기반 디스퍼러티 방법을 테스트하기 위해 Visual C++과 OpenGL을 이용하여 그림 11과 같이 환경을 모델링하여 환경맵을 획득하고 획득된 두 환경맵에 일치점을 설정하여 깊이값을 구하고 이를 이용하여 3차원 모델로 재구성하였다. 그림 11-a에서 V1, V2는 환경맵을 획득할 시점, T는 두 시점 간의 거리인 베이스라인을 말한다. 그림 11-b는 시선방향으로 환경 모델을 바라본 모습을 보여주고 있다.

본 논문에서는 환경맵을 획득하기 위해 가시영역(FOV)를 90도로 설정하고 스트립 카메라를 360도 회전하여 원통맵을 획득하였다. 그림 12-a는 획득된 환경맵을 보여주고 있으며 그림 12-b는 실제 획득된 깊이영상을 나타내고 있다.

획득된 환경맵에 그림 12-a와 같이 일치점을 설정하여 제안된 방법에 의해 구해진 깊이값을 표 3에서 보여주고 있다. θ T는 환경맵에서의 일치점 위치를 나타내며 Z는 최단거리 깊이값을, Z_1, Z_2 는 환경맵에서의 깊이값을 나타내고 있다. 그림 13은 표 3에서 획득된 깊이값을 이용하여 3차원 모델로 재구성한 모습이다. 결과 영상에서 볼 수 있듯이 제안된 환경맵 기반

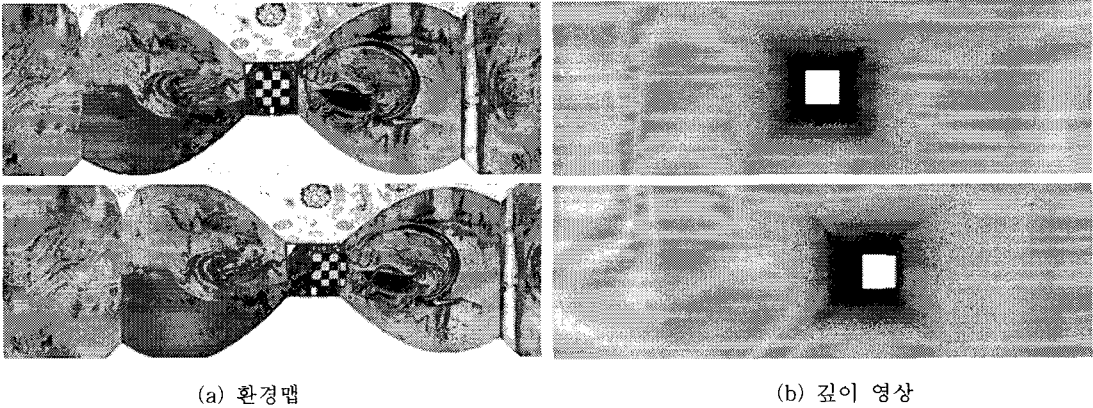


(a) 환경 모델 구성



(b) 획득 시점에서 본 환경 모델

그림 11. 환경 모델의 구성



(a) 환경맵 (b) 깊이 영상

그림 12. 획득된 환경맵과 실제 깊이영상

표 3. 일치점에 의한 환경맵 기반 디스페러티

일치점	θ_1	V_1	θ_2	V_2	Z	Z_1	Z_2
1	1.380700	21	-1.100588	21	7.135862	7.266766	8.004689
2	1.380700	21	-1.100588	21	7.135862	7.266766	8.004689
3	1.380700	21	-0.720365	21	5.280370	5.377236	8.004696
4	1.380700	-21	-0.720365	-21	5.280370	5.377236	8.004696
5	1.230624	29	-1.420720	29	29.898157	31.715551	30.238043
6	1.230624	-29	-1.420720	-29	29.898157	31.715551	30.238043
7	-1.270644	31	-0.790401	31	27.347088	28.626959	38.482601
8	-1.270644	-31	-0.790401	-31	27.347088	28.626959	38.482601

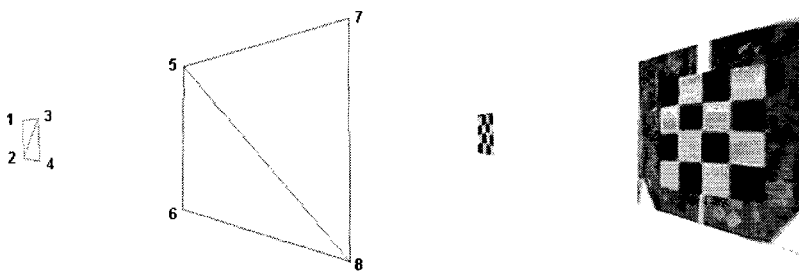


그림 13. 깊이값 계산에 의해 재구성한 3차원 모델

디스페러티 방법에 의해 환경맵으로부터 쉽게 거친 3차원 모델을 재구성할 수 있다. 그러나, 탄젠트값에 의해 계산되는 환경맵 기반 디스페러티는 일치점 설정의 정확도에 따라 깊이값에 영향을 주어 세밀한 깊이영상을 구하기 어렵다는 제한점을 가지고 있다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 환경맵에서의 깊이값을 획득하기

위해 환경맵 기반 디스페러티 방법을 제안하였다. 이 방법은 두장의 시차를 갖는 환경맵에서의 디스페러티를 이용하여 깊이값을 계산할 수 있다. 제안된 방법을 이용하여 물체의 가시도를 검사할 수 있으며, 참조 평면과 연관이 없는 물체의 깊이값을 계산할 수가 있다. 또한, 입력으로 사용하는 환경맵들을 일반화하기 위해 비스테레오 영상으로부터 깊이값을 유추하는 방법을 소개하였다. 환경맵 기반 디스페러

티 방법을 이용하여 비스테레오 환경맵에서의 물체의 깊이값을 추출할 수 있으며 3차원 환경 모델을 재구성할 수 있다.

디스퍼러티에 의한 방법은 일치점에 의해 쉽게 깊이값이 계산되나 환경맵에 적용할 경우 계산되는 깊이값이 일치점들의 매칭 오차에 매우 민감하게 영향을 받는다. 즉, 깊이를 구할 점이 베이스 라인에 가까울수록 깊이값의 변화가 크고 멀수록 깊이값 변화가 작아지는 비선형적인 형태를 갖는다. 그러므로 베이스 라인에서 가까운 부분에서도 깊이값이 선형적인 변화를 갖도록 하는 깊이값 보정 단계가 향후 연구로 필요하다. 또한, 베이스 라인상에 있는 점의 깊이값은 구해 낼 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 추가적인 정보(또다른 환경맵이나 깊이정보)를 통한 깊이값 추출에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 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.

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

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

[4] Youichi Horry, Ken-Ichi Anjyo, and 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.

[5] Jim Blinn and Martin Newell, "Texture and reflection in computer generated images," *Communications of the ACM*, 19:456-547, 1976.

[6] Alan Watt and Fabio Policarpo, *The Computer Image*, Addison-Wesley, 1998.

[7] David Blythe, "Advanced Graphics Programming Techniques Using OpenGL," *SIGGRAPH '99 Course Note*. 1999.

[8] N. Greene, "Environment Mapping and Other

Applications of World Projections," *Computer Graphics and Applications*, 6(11):21-29. Nov. 1986.

[9] W. Heidrich and H.-P. Seidel. "View independent Environment Maps," *Euro-graphics/ACM Siggraph Workshop on Graphics Hardware*, 1998.

[10] Leonard McMillan and Gary Bishop, "Plenoptic modeling : An image-based rendering system," *SIGGRAPH '95*, pp. 39-46, 1995.

[11] SeungTaek Ryoo and KyungHyun Yoon, "Double Cross Cylinder," *IEICE Transaction on Information & Systems*, June 2002.

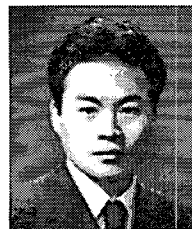
[12] Heung-Yeung Shum, Mei Han, and Richard Szeliski. "Interactive Construction of 3D Models from Panoramic Mosaics," *IEEE CVPR*, pp 427-433, Santa Barbara, June 1998.

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

[14] 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.

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

[16] Olivier Faugeras, *Three Dimensional Computer Vision, Geometric Viewpoint*, The MIT Press, 1993.



류 승택

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, Non-Photorealistic Rendering