

카타디옵트릭 카메라를 이용한 직각교차실린더맵에 관한 연구

구경모, 김병훈, 김하영, 차의영
부산대학교 컴퓨터공학과
e-mail:kookyungmo@hanmail.net

A Study on Orthogonal Cross Cylinder Map using Catadioptric Camera

Kyung-Mo Koo, Byoung-Hun Kim, Ha-Young Kim, Eui-Young Cha
Dept of Computer Engineering, Pusan National University

요 약

본 논문에서는 일반적인 실린더 맵에서 구현하지 못하는 시점이동의 한계를 보완하고 현실감 있는 실시간 영상기반 환경 탐색을 위해 완전시야를 갖는 직각 교차 실린더 맵을 제안한다. 제안한 알고리즘에서는 한 대의 카메라와 하나의 볼록거울의 조합으로 이루어진 카타디옵트릭 카메라를 이용하여 수평, 수직 두 개의 전(全)방향 이미지를 얻고, 이미지를 실린더에 매핑한 뒤 두 실린더를 합하는 방법을 이용하였다. 실험에서는 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 시선이동 뿐만 아니라 환경 탐색에 자유로워짐을 확인한다.

1. 서론

가상현실은 인간의 원초적 감각입력을 컴퓨터에 의해서 생성된 정보와 대체함으로써, 가상현실을 체험하는 체험자로 하여금 실질적으로 다른 장소에 있다고 확신하도록 만드는 기술이다.

가상환경을 구축하여 체험자가 자유롭게 환경 탐색을 하기 위해서 개발자는 두 가지의 문제에 직면하게 된다. 첫째, 가상환경을 현실세계와 같이 사실적으로 표현해야 한다는 것이고 다른 하나는 체험자와의 상호작용을 위해 실시간으로 렌더링을 처리해야 한다는 것이다. 이 두 문제는 오브젝트 중심의 전통적인 그래픽스 방법에 의한 모델링 및 렌더링을 수행에 있어 양립 되어 동시에 만족하도록 하기가 힘들다. 예를 들어 가상환경의 영상의 질을 높이기 위해 자세하게 환경을 모델링하게 되면 각 오브젝트에 사용된 수많은 폴리곤(polygon)으로 인해 렌더링 시간이 늘어나게 된다.

이러한 두 가지 문제를 해결하기 위해서는 전통적인 그래픽스 표현 기술이 아닌 영상 기반 표현기술이 필요하다. 영상 기반 표현 기술은 렌더링비용이

많이 드는 3차원 오브젝트들을 2차원 영상들로 대체함으로써 렌더링을 실시간으로 수행할 수 있게 하며 또한 실세계 자연 현상을 표현하기 위해 고비용이 드는 시뮬레이션 알고리즘을 사용하여 렌더링 할 필요 없이 실제 영상을 사용함으로써 보다 실세계와 같은 가상 환경을 구축할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

이러한 영상 기반 표현 기술을 구현하고 있는 기법으로 Panorama VR이 있다. 이는 체험자가 좌·우 시점 이동, 회전, 확대(zoom in), 축소(zoom out)가 가능한 상태로 입체적인 접근방법을 제공하지만, 제작 기술의 제한된 사항으로 상단부와 하단부의 표현이 왜곡되거나 표현되지 못하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 기존의 Panorama VR의 제작기법의 기본적인 개념과 제작과정을 통하여 상단부와 하단부가 표현되지 못하는 단점을 파악하고, 상단부와 하단부의 표현을 근본적으로 가능하게 하여 상·하 시점이동이 자유로워도록 하는 기법으로 완전시야를 가지는 직각 교차 실린더 맵을 제안한다.

2. 선행연구

본 장에서는 먼저 파노라마 이미지를 얻기 위해 카메라 앞에 설치할 여러 가지 종류의 거울과 그 특성, 그리고 그로부터 획득된 전방향 이미지를 파노라마믹 이미지로 재구성하는 방법에 대해 알아본다.

2.1 Catadioptric Camera

일반 카메라와 전방향 획득이 가능한 볼록거울로 구성된 카메라의 조합을 Catadioptric Camera라고 하며 기존에 연구된 거울의 종류는 크게 네 가지로 나뉜다[1].

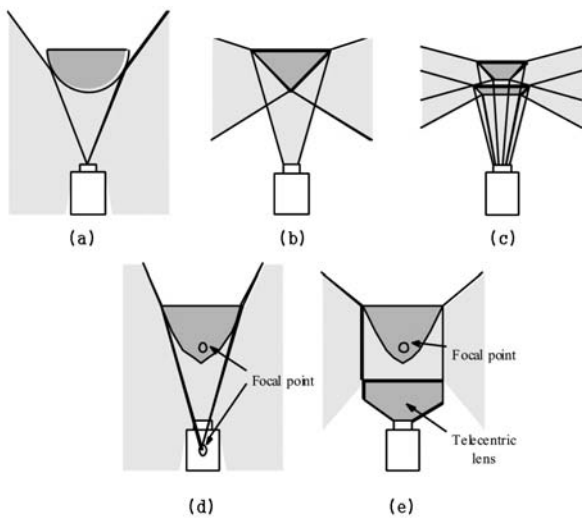


그림 1 전방향 거울들

○ 구면(spherical) 거울

그림 1-(a)와 같은 구조로 되어있으며, 깨끗한 이미지를 얻을 수 있고 제작비용도 비교적 적은 반면 구면에 사영되는 상의 중심이 한 점이 아니므로 일반적인 평면이미지로의 복원이 불가능하다.

○ 원뿔(conic) 거울

그림 1-(b)와 같은 구조를 가지며, 세로방향의 영상을 쉽게 얻을 수 있다. 또한 그림 1-(c)와 같이 다른 거울과의 조합을 통해 스테레오 이미지를 동시에 얻을 수 있다. 그러나 이 역시 구면거울과 같이 하나의 초점을 가지지 않으므로 일반적인 평면이미지로의 복원이 불가능하다.

○ 쌍곡선(hyperboloidal) 거울

그림 1-(d)와 같은 구조를 가지는 쌍곡선 거울은 하나의 사영중심을 가지므로 평면이미지 뿐만 아니라 원통형 매핑도 가능하다. 또한 왜곡이 적고, 거울 바깥쪽에서의 흐려짐 현상도 크지 않다. 이처럼 쌍곡선 거울은 광학적인 여러 가지 장점을 지니지만 제작하기가 어렵기 때문에 비용이 비싸며, 카메라의

초점과의 거리조정 등 올바르게 사용하기 위한 여러 가지 제약조건이 따른다.

○ 포물선(parabola) 거울

그림 1-(e)와 같은 포물선 거울과 Telecentric Lens를 조합한 구조의 거울은 최상의 성능을 발휘한다. 하나의 사영중심을 가지며 왜곡과 흐려짐 현상 또한 적다. 또한 Telecentric Lens를 통해 시점 거리와 굴절률도 조정 가능하다. 불행하게도 Telecentric Lens는 매우 비싸고 크기 또한 적지 않기 때문에 사용이 힘들다는 단점이 있다.

여러 가지 상황을 고려하여 본 논문에서는 이들 네 가지 종류의 거울들 중 쌍곡선(hyperboloidal) 거울을 이용하였다.

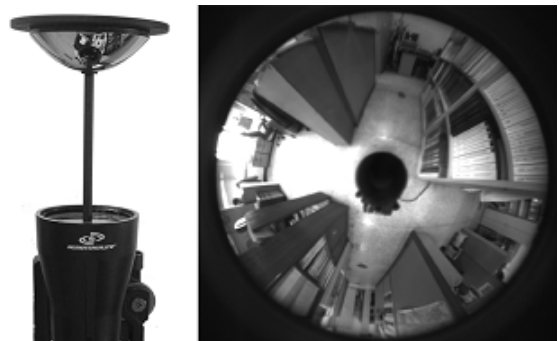


그림 2 (a) 쌍곡선 거울 (b) 전방향 영상

2.2 파노라마믹 이미지로의 변환

쌍곡선 거울과 일반 카메라를 조합하여 세워두면 그림 2-(b)와 같은 전방향 이미지를 획득할 수 있다. 바닥 정보를 추출해내기 위해서는 원형태의 전방향 이미지를 파노라마믹 이미지로 변환하는 전처리 과정이 필요하며 그 과정은 다음과 같다. 먼저 전방향 이미지의 반지름과 원주의 1/2값을 각각 파노라마믹 이미지의 높이와 너비로 둔다. 그리고 파노라마믹 이미지의 픽셀에 해당하는 좌표를 함수 $F_{(x,y)}$ 를 이용하여 찾는다.

$$F_{(x,y)} = \left[\begin{array}{c} y \times \sin\left(\frac{x}{r}\right) \\ -y \times \cos\left(\frac{x}{r}\right) \end{array} \right] \quad (1)$$

식 1에 의하여 변환된 파노라마믹 이미지는 그림 3과 같다. 이와 같이 변환된 픽셀의 원 좌표들은 Look-up 테이블에 저장함으로써, 실시간 탐색 시 계속해서 이미지의 변환에 대해 계산해야하는 시간의 낭비를 줄일 수 있다.

3. 직각 교차 실린더 매핑

직각 교차 실린더란 수평·수직으로 서로 교차하는 실린더의 교집합을 통해 그림 3과 같이 생성된다. 이렇게 생성된 직각 교차 실린더 맵은 하나의 픽셀이 차지하는 환경영역이 일정하다는 특징이 있으며 극점에서 발생하는 왜곡 현상을 제거할 수 있다.

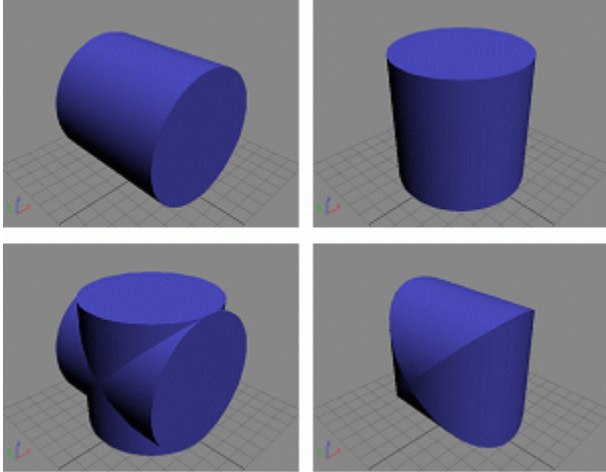


그림 3 직각 교차 실린더의 생성

직각 교차 실린더 맵의 생성 과정은 다음과 같다. 먼저 Y축과 Z축을 기준으로 하여 카타디옵트릭 부터 얻어진 각각의 전방향 영상들을 얻은 뒤 실린더에 매핑 하여 XZ 실린더 맵, XY 실린더 맵을 생성할 수 있다.

생성된 XZ 실린더 맵과 XY 실린더 맵을 저장할 때는 아래와 같은 관계를 고려할 필요가 있다. 먼저, 시역(FOV)과 실린더의 반지름(r)에 따른 실린더의 높이(h)와의 관계는 다음과 같다[2].

$$h = 2r \times \tan \frac{FOV}{2} \quad (2)$$

카타디옵트릭 카메라의 수직 시역이 약 90도이므로 식 2에 의해 실린더 맵의 너비(w), 높이(h)와 실린더 반지름(r)의 관계는 다음과 같음을 알 수 있다.

$$w = \pi h (\because w = 2\pi r, h = 2r) \quad (3)$$

그러므로, XZ 실린더 맵과 XY 실린더 맵의 너비와 높이와의 관계는 항상 $w = \pi r$ 이 되도록 유지해야 하며 이는 2.2절에서 계산되어진 파노라믹 이미지의 크기와 같다.

이렇게 직각 교차 실린더를 구성하기 위해 생성된 두 개의 실린더에는 각각 서로의 실린더 맵에 포함된 중복 환경이 존재하며 이는 그림 4-(a)와 같다.

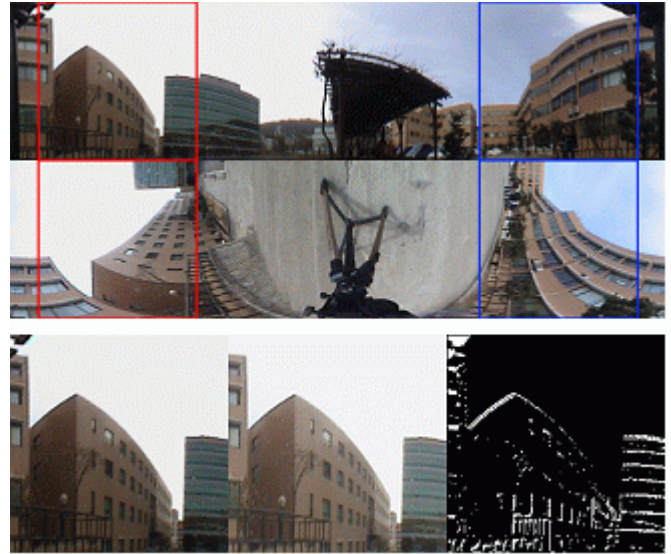


그림 4 (a) XZ, XY 실린더의 중복환경
(b) 평면 와핑 후 차영상 결과

그림 4-(b)는 차영상을 통해 각각의 실린더의 중복영역을 비교한 영상이다.

XZ 실린더와 XY 실린더의 교차영역을 구하기 위해서는 각 실린더에 대한 함수식이 필요하다. 각 실린더의 함수식은 아래와 같다[3].

$$\begin{aligned} XZ\text{실린더: } X^2 + Z^2 - 1 &= 0 \\ XY\text{실린더: } X^2 + Y^2 - 1 &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

이때, 두 함수의 교차점을 (a, b, c)라 하여 식 4를 연립하여 계산하면 아래와 같은 관계가 유도된다.

$$b^2 = c^2 \rightarrow \pm b = \pm c \quad (5)$$

임의의 실세계 좌표점 P(X, Y, Z)는 실린더 스크린 좌표점 (θ, ν)로 다음과 같은 관계에 의해 매핑 된다.

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \frac{Z}{X} = \cos^{-1} \frac{X}{\sqrt{X^2 + Z^2}} \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi \\ \nu &= \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Z^2}} \quad -1 < \nu < 1 \end{aligned} \quad (6)$$

수식 5에 b, c를 ζ 라고 하면 교차점은 $(\pm\sqrt{1-\zeta^2}, \pm\zeta, \pm\zeta)$ 로 나타낼 수 있다. 수식 6에 이

교차점을 대입하여 교차영역을 구하면 다음과 같이 표현된다.

$$\theta = \cos^{-1}(\sqrt{1 - \zeta^2}) \quad \nu = \zeta \quad (7)$$

수식 7에 의해 ν 를 θ 에 의해 정리하면 XZ 실린더와 XY 실린더의 교차되는 영역을 나타내는 함수는

$$\nu = \pm \sin \theta \quad (8)$$

임을 알 수 있다. 수식 8을 임의의 실린더 반지름(r)을 고려하고 실린더 스크린 좌표계 (θ, ν) 로 일반화하면 다음과 같은 관계를 유도할 수 있다.

$$\theta = r \cdot \cos^{-1} \frac{\sqrt{r^2 - \zeta^2}}{r} \quad \nu = \zeta + r \quad (9)$$

$$\nu = r \pm r \cdot \sin \frac{\theta}{r} \quad 0 \leq \theta < 2\pi r \quad 0 \leq \nu \leq 2r$$

이렇게 구해진 두 실린더가 서로 교차되는 교차점을 이용하면 XZ와 XY 실린더 맵에서 중복을 제거할 수 있다. 즉, 수식 8로부터 $|\nu|$ 가 $|\sin\theta|$ 보다 큰 샘플들을 제거함으로써 각 실린더 맵에서 중복을 제거할 수 있다. 두 실린더에 의해 중복된 샘플들을 일반화하여 나타내면 다음과 같이 나타내어진다.

$$|\nu| = |r \pm r \cdot \sin \frac{\theta}{r}| \quad (10)$$

그림 5는 수식 10을 이용하여 두 실린더의 교차영역을 제거한 모습을 보여주고 있다.

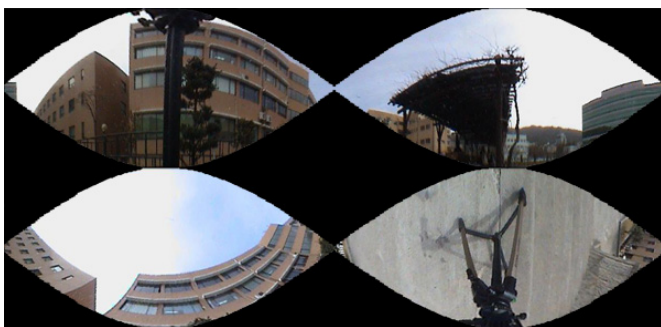


그림 5 중복 영역이 제거된 실린더맵

4. 실험 결과

본 논문에서 제안한 직각 교차 실린더 맵을 이용

하여 원하는 영상을 렌더링 하는 과정의 구현을 위해 Macrovision사의 3D-MAX를 사용하여 3차원 모델링과 매핑을 하였다. 이 때 중복 샘플 제거시의 오차로 인해 이미지가 중복 혹은 손실될 가능성을 감안하여, 실제 직각 교차 실린더를 모델링 하지 않고 매핑 된 두 개의 실린더를 겹쳐 실린더 내부에 카메라를 두어 렌더링 하는 방식을 택한다.

그림 6은 XZ 실린더와 XY 실린더 맵을 각 실린더에 매핑하여 렌더링 된 결과를 보여주고 있다.

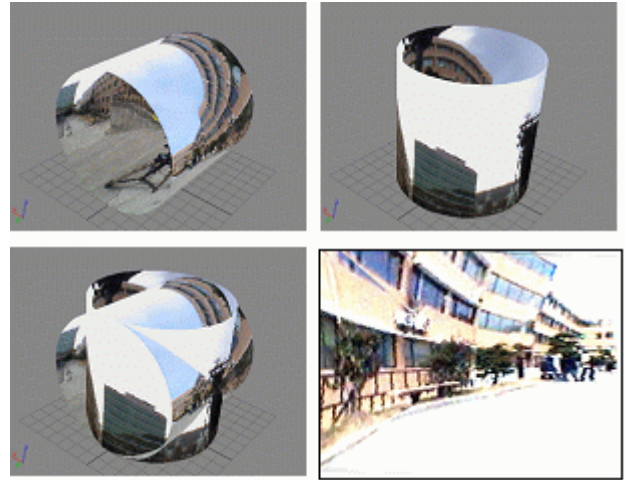


그림 6 매핑 결과와 렌더링 된 영상

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존의 일반적인 실린더 맵 영상에서 상·하단부로의 시점 이동이 불가능하다는 단점을 보완하고 현실감 있는 탐색 영상의 실시간 렌더링을 위해 카타디옵트릭 카메라를 이용하여 완전시야를 가지는 직각 교차 실린더 맵을 제안하였다.

향후 연구방향으로 다른 직각 교차 실린더 영역으로의 자유롭고 자연스런 탐색 및 이동을 위해 실린더 간의 링크 구성과 중간영상 생성에 관한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] Hiroshi ISHIGURO, "Development of Low-Cost Compact Omnidirectional Vision Sensors", Panoramic Vision, Springer, 2001
- [2] SeungTeak Ryoo, KyungHyun Yoon, "Environment Maps Based Real-time Architectural Walkthroughs", ICAV3D2001, Mykonos, Greece
- [3] 류승택, "다중 직각 교차 실린더를 이용한 영상기반 파노라마 뷰 렌더링", 중앙대학교 영상정보대학원 박사학위논문, 2002