

3D 디스플레이에서의 화면 시차 제어를 위한

입체 영상 재생성 기법

이선민¹ 최종무¹ 최수미²

¹University of Southern California

²세종대학교 컴퓨터공학과

(seonminr, jongmoochoi)@usc.edu, smchoi@sejong.ac.kr

A Method for Reproducing Stereo Images to Adjust Screen

Parallax on a 3D Display

Seon-Min Rhee¹ Jongmoo Choi¹ Soo-Mi Choi²

¹University of Southern California

²Sejong University

요약

본 논문에서는 3D 디스플레이에서 사용자가 인지하는 깊이감을 조절하기 위하여 촬영된 스테레오 영상으로부터 중간시점 영상들을 생성하기 위한 방법을 제안한다. 두 대의 카메라로부터 획득된 스테레오 영상은 카메라의 물리적인 위치와 간격에 따라 고정된 시점과 화면 시차를 갖는다. 본 논문에서는 입력 스테레오 영상에 대한 시점 보간을 수행함으로써, 두 입력 영상 사이의 중간 시점에 대한 스테레오 영상을 생성하였다. 또한, 시점 보간에 사용되는 선형 보간 계수를 조절하여 재생될 스테레오 영상의 카메라 간격을 조절할 수 있도록 하였다. 제안 방법을 이용하면 사용자의 양안 간격이나 어플리케이션 특성에 적합하도록 깊이감이나 입체감을 조절하여 스테레오 영상을 재생성할 수 있다.

Abstract

We present a method to reproduce in-between views from captured stereo images to control depth feeling that a user can perceive on a 3D display. The stereo images captured from a pair of cameras have a fixed viewpoint and a screen parallax which depend on the physical position and the distance between the cameras. In this paper, we produce stereo images of an intermediate viewpoint between two original cameras by a view interpolation on the input stereo images. Furthermore, the camera separation of the reproduced stereo images can be controlled by a linear interpolation coefficient used by the view interpolation. By using the proposed method, stereo images can be reproduced where the depth feeling and a three dimensional effect is suitable for the individual's eye separation or the characteristic of an application.

키워드: 3D 디스플레이, 시점 보간, 양안 시차, 스테레오 비전

Keywords: 3D display, view interpolation, binocular disparity, stereo vision

*투고일: 2010-05-01 / 심사일: 2차 2010-10-16 / 게재확정일: 2010-11-03

1. 서론

최근 3D TV, 3D 모니터 등과 같은 3D 디스플레이 하드웨어가 급속도로 보급됨에 따라 입체 콘텐츠 제작에 대한 관심 및 수요가 점차 증가하고 있다. 사람이 자신을 둘러싼 세계를 입체적으로 지각하는 데에는 단안 단사인 가려짐 (occlusion), 사물의 상대적 크기 (relative size), 그림자 (shadow) 및 운동 시차 (motion parallax) 등 [1]이 있으며, 양안 단서로 양안 시차 (binocular disparity), 초점 조절 (accommodation) 및 수렴 (convergence) 등이 있다.

이 중, 양안 시차는 사람 눈이 가로 방향으로 약 65mm 떨어져 있어서 두 망막에 약간 다른 상이 맺히기 때문에 발생된다. 사람의 뇌는 이러한 시차 정보를 이용하여 삼차원 공간 내에 존재하는 객체의 거리를 추정하게 되고, 이 때 인식되는 객체 간 간격이나 동일 객체 내부의 거리 차에 의하여 입체감을 인지하게 된다. 최근 보급되는 3D 디스플레이 환경에서는 이러한 양안 시차 원리를 적용하여 입체감을 제공하고 있으며, 이를 위해서는 양안 시차를 제공하는 스테레오 영상이 필요하다.

스테레오 영상은 나란히 배치된 두 대의 카메라로부터 획득할 수 있는데, 카메라 간 간격은 사람이 인지하는 객체의 깊이감 및 입체감에 영향을 미친다. 카메라 간격이 넓은 경우 깊이감과 입체감을 더 크게 느끼게 되지만 [2][3] 일정 간격이 넘으면 어지러움을 유발하는 등의 부작용이 발생하며 이는 개인별로 차이가 있다. 어지럽지 않은 자연스러운 스테레오 영상을 생성하기 위하여 카메라 간격을 사람의 양안 간격과 동일하게 설정하지만, 카메라를 배치할 공간에 물리적인 제약이 있거나 하나의 스테레오 카메라 내에 렌즈 간격이 65mm 보다 넓게 설정되어 있는 경우 [4]에는 사람의 양안 간격과 동일한 카메라 및 렌즈 간격을 유지할 수 없다. 따라서, 이미 생성된 스테레오 영상을 조절하여 각 개인에게 최적화된 스테레오 영상을 제공하거나, 사람의 양안 간격과 동일한 카메라 간격으로 촬영된 스테레오 영상으로 재생성 하기 위한 방법이 필요하다.

스테레오 영상으로는 그래픽스 라이브러리 등을 이용하여 삼차원 모델을 생성하고 가상 카메라를 설정하여 렌더링 된 두 영상을 이용할 수 있다. 이 경우, 카메라 시점이나 간격을 조절하고 싶으면 두 가상 카메라의 위치나 간격을 재조절한 뒤에 삼차원 모델을 다시 렌더링하여 비교적 쉽게 원하는 스테레오 영상을 재생성 할 수 있다. 반면, 영화와 같이 실 환경을 대상으로 하는 경우에는 동일한 가로선 상에 나란히 배치한 두 대의 카메라 혹은 한 카메라 안에 두 개의 렌즈가

내장되어 있는 스테레오 카메라를 이용하게 된다. 이 경우, 스테레오 영상을 이미 획득한 후에 카메라 시점이나 카메라 간 간격을 조절해야 하면, 물리적으로 카메라 위치나 간격을 조절한 후에 해당 장면을 재촬영 할 수 밖에 없다.

본 논문에서는 기존에 획득된 실사 스테레오 영상에 시점 보간 (view interpolation)을 수행하여 재촬영 없이 카메라의 시점을 바꾸거나 카메라 간 간격을 조절함으로써 깊이감과 입체감을 조절하기 위한 방법을 제안한다. 3D 디스플레이 에서 깊이감 및 입체감에 영향을 미치는 요인으로는, 카메라 간 간격, 카메라 초점 거리, 수렴 거리 등이 있으나 본 논문에서는 카메라 간 간격을 중심으로 살펴본다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 스테레오 영상 기반 3D 입체 디스플레이 원리와 시점 보간을 이용한 중간 시점 영상 생성 원리에 대하여 살펴본다. 3 장에서는 시점 보간을 이용하여 사용자가 원하는 위치 및 카메라 간격으로 스테레오 영상을 재생성 하는 방법을 제시한다. 4 장에서는 미들베리 스테레오 영상 및 시차 영상을 이용한 실험 결과와 사용자 평가 결과를 보이고, 5 장에서 결론을 제시한다.

2. 관련연구

본 장에서는 스테레오 영상을 이용한 3D 디스플레이 원리에 대하여 살펴본다. 또한, 시점 보간을 이용하여 두 입력 영상 사이에서의 중간 시점 영상을 재생성 하는 방법을 설명한다.

2.1 스테레오 영상 기반 3D 디스플레이

양안 시차를 기반으로 하는 3D 디스플레이로는 스테레오 스코픽 (stereoscopic) 디스플레이와 무안경 방식 스테레오 스코픽 (auto-stereoscopic) 디스플레이 [5][6]가 있으며, 이차원 화면을 통하여 입체감을 지원하기 위하여 사람이 삼차원 공간 상에서 사물을 보는 방식을 시뮬레이션 할 수 있도록 제어한다. 즉, 왼쪽 및 오른쪽 눈에 보여질 좌안 및 우안 영상을 이차원 화면 상에 동시에 디스플레이 하고, 특수 안경이나 특수 패널 등을 이용하여 오른쪽 눈은 우안 영상 만을, 왼쪽 눈은 좌안 영상 만을 볼 수 있도록 함으로써 입체감을 재현할 수 있도록 해준다.

스테레오 카메라로 획득된 좌안 및 우안 영상을 화면 상에 동시에 디스플레이 하면, 그림 1 에서 보는 것과 같이 화면 시차 (screen parallax)가 생기며, 이 때 발생하는 화면 시차의 크기에 따라 깊이감의 정도가 다르게 느껴진다. 화면 시차는 좌안 및

우안 영상 내 대응점간 위치 관계에 따라 다음의 세 종류로 나누어 볼 수 있다.

양의 시차 (positive parallax)는 우안 영상에서의 대응점이 좌안 영상에서의 대응점보다 오른쪽에 디스플레이 되는 것으로 사물이 화면 뒤에 있는 것처럼 지각된다. 음의 시차 (negative parallax)는 우안 영상에서의 대응점이 좌안 영상의 대응점과 교차 디스플레이 되어 사물이 화면의 앞 쪽에 있는 것처럼 느껴진다. 영의 시차 (zero parallax)는 두 영상에서의 대응점이 화면 상 같은 곳에 디스플레이 되어 사물이 화면 상에 있는 것처럼 지각된다.

양의 시차 및 음의 시차인 경우, 사람이 지각하는 사물의 깊이 P 는, 사람과 화면 간의 거리 Z , 사람의 양안 간격 e , 화면 시차 d 를 이용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{Z}{(e/d) \pm 1} \quad (1)$$

이 때, 화면 시차는 양안 간격보다 작다 ($d < e$).

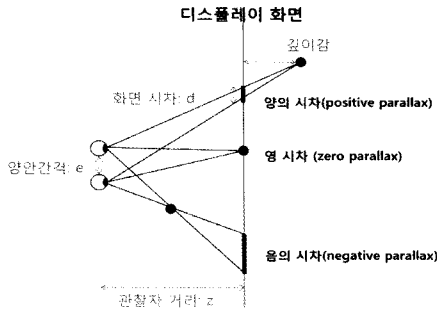


그림 1: 화면 시차에 의해 지각되는 깊이감

2.2 시점 보간을 이용한 중간 시점 영상 생성

시점 보간을 이용하여 두 영상 사이의 중간 시점 영상을 생성하는 연구는 Seitz 등[7]에 의하여 시도되었다. 이들이 제안한 시점 모핑 (view morphing)은 Chen 등[8]의 방법에 기반한 것으로, 입력 영상을 획득한 두 대의 카메라 사이에 가상 카메라를 설정하고, 이 가상 카메라에 투사된 장면을 재생성 할 수 있도록 하는 방식이다.

이 연구에서는 두 카메라의 영상 평면 I_0 와 I_1 이 평행한 경우, 중간 시점에서의 가상 카메라 영상 I_s 내 한 점 $p_i = [u_i, v_i, 1]^T$ 는 삼차원 공간 상에서의 한 점 $P_w = [X, Y, Z, 1]^T$ 가 I_0 와 I_1 로

투사된 대응점 p_0 와 p_1 의 선형 보간으로 나타낼 수 있다는 것을 다음과 같이 증명하였다.

I_0 와 I_1 의 투영 행렬 Π_0 과 Π_1 은, I_0 의 카메라가 실세계 좌표계 (world coordinate)에서의 원점에 있다고 가정할 때,

$$\Pi_0 = \begin{bmatrix} f_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \Pi_1 = \begin{bmatrix} f_1 & 0 & 0 & -f_1 C_x \\ 0 & f_1 & 0 & -f_1 C_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 이 때, f_0 와 f_1 는 두 카메라의 초점 거리이며, $C_0(0, 0, 0)$ 와 $C_1(C_x, C_y, 0)$ 는 I_0 와 I_1 가 획득된 두 카메라의 위치이다. 두 대응점 p_0 와 p_1 의 선형 보간에 의한 새로운 점 p_i 는

$$\begin{aligned} p_i &= (1-s)p_0 + sp_1 \\ &= (1-s)\frac{1}{z}\Pi_0 P + s\frac{1}{z}\Pi_1 P \\ &= \frac{1}{z}\Pi_s P \end{aligned} \quad (3)$$

로 표현될 수 있으며, 여기서 선형보간 계수 s 의 범위는 0과 1 사이이고 $\Pi_s = (1-s)\Pi_0 + s\Pi_1$ 이다.

결과적으로, 두 입력에서의 대응점 간 선형 보간에 의해 재생성 된 중간 카메라 시점에서의 영상은 투영 행렬 Π_s , 카메라 중심 $C_s = (sC_x, sC_y, 0)$, 초점 거리 $f_s = (1-s)f_0 + sf_1$ 를 갖는 카메라에 의해 투사된 영상으로 볼 수 있다.

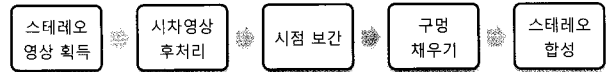


그림 2: 시점 보간 기반 스테레오 영상 재생성을 위한 파이프라인

3. 시점 보간 기반 스테레오 영상 재생성

본 장에서는 사람의 양안 간격 보다 넓게 배치된 두 대의 카메라로부터 획득된 스테레오 영상을 이용하여 입력 카메라 사이의 중간 시점에서, 사용자가 원하는 카메라 간격으로 스테레오 영상을 재생성 하기 위한 방법을 기술한다. 이를 위해서는 입력 스테레오 영상에 대한 시차 영상이 필요하며, 기존에 제안된 다양한 방법[9]을 이용하여 구할 수 있다.

그림 2는 본 논문에서 제안 방법을 수행하기 위한 단계별 처리 내용을 보여주며, 다음의 각 절에서는 보다 구체적으로 기술한다.

3.1 스테레오 영상 획득

스테레오 영상을 획득하는 방법은 크게 두 가지로 나뉘볼 수 있다. 첫 번째 방법은 한 대의 카메라 안에 두 개의 렌즈가 고정되어 장착된 카메라를 이용하는 것이다. 이 경우, 두 영상 내 대응점이 동일한 수평선 상에 위치하도록 되어 있어서 별도의 후처리 없이 직접 3D 디스플레이에 사용할 수 있다. 하지만, 두 렌즈 사이의 간격이 물리적으로 고정되어 있어서 양안 간격을 임의로 조절할 수 없다.

두 번째 방식은 일반 카메라 두 대를 나란하게 배치하여 두 장의 영상을 각각 획득하여 스테레오 영상으로 사용하는 경우인데, 카메라 간격을 사용자가 원하는 대로 조절할 수 있지만, 영상 교정(rectification)[10]과 같은 후처리 등을 통하여 두 영상 평면이 동일 수평선 상에 위치하도록 해야 한다.

제안 방법은 렌즈 위치가 카메라 내에 고정되어 있어서 렌즈 간 간격을 물리적으로 조절하지 못하는 경우에 사용될 수 있다. 또한, 카메라 간격을 임의로 조절할 수는 있지만 공간 내 물리적인 제약으로 두 대의 카메라를 사람의 양안 간격으로 배치하지 못할 때 최적화된 스테레오 영상을 재생성 하기 위하여 활용될 수 있다.

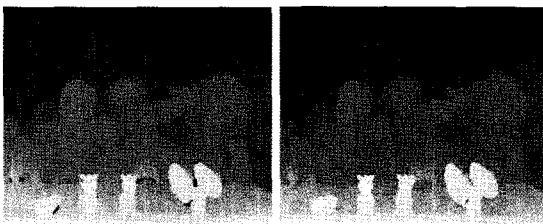


그림 3: 시차 영상 최적화 전 (a), 후 (b) 비교

3.2 시차 영상 후처리

스테레오 영상은 동일한 수평선 상에 있는 카메라로부터 획득되고 필요에 따라 영상 교정과 같은 후처리가 수행되기 때문에 두 영상 간 대응점은 수평선 상에서의 이동 변위만을 갖는다. 시차 영상은 이러한 변위를 영상 내 화소 값으로 표현한 것이다. 시차 영상은 구조 광(structured light) 등을 이용하는 능동(active) 방식에 의해 획득하는 경우가 많은데, 객체 간 가려짐 혹은 반사 등에 의하여 화소 값이 정의되지 않는 영역이 생긴다. 본 연구에서는 이러한 영역은 주변과

연속적인 표면 상 한 점이라고 가정하여, 8-방향 이웃 화소를 검색하여 가장 많은 값을 갖는 값으로 정의하였다. 그림 3은 8방향 이웃 화소 값을 참조하여 시차 영상에서 정의되지 않은 화소 값을 정의한 결과를 보여준다.

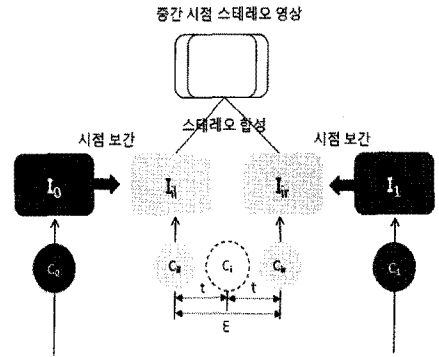


그림 4: 중간 시점 스테레오 영상을 생성하기 위한 가상 카메라 위치

3.3 시점 보간 기반 중간 시점 스테레오 영상 생성

두 장의 입력 영상 사이의 중간 시점에서, 카메라 간격을 조절한 스테레오 영상을 재생성 하기 위해서는 중간 시점의 가상 카메라의 위치를 정해야 한다. 이를 위하여 그림 4에 제시한 것과 같이 입력 스테레오 영상을 획득한 카메라 위치를 각각 C_0 , C_1 가상 카메라의 기준 위치를 C_c 로 정의하고, 기준 카메라를 중심으로 가상의 스테레오 카메라 위치를 각각 C_{cl} 와 C_{cr} 로 정의한다. 이 때, C_{cl} 와 C_{cr} 은 C_c 에서 각각 t 만큼 떨어져 있다고 가정한다.

C_0 이 실제계 좌표계 원점에 있다고 가정하면, 입력 스테레오 영상의 카메라 위치는 2.2 절에서 언급한 것과 같이 $C_0(0, 0, 0)$ 와 $C_1(C_x, C_y, 0)$ 로 정의될 수 있다. 중간 시점으로 선택된 가상의 기준 카메라 위치 C_c 는 C_0 과 C_1 의 선형 보간에 의해서 $C_c = (s_1 \cdot C_x, s_1 \cdot C_y, 0)$ 로 나타낼 수 있으며, $\{s_1 | 0 \leq s_1 \leq 1\}$ 이다.

기준 카메라 C_c 로부터 t 만큼 떨어져 있는 가상 스테레오 카메라 C_{cl} 과 C_{cr} 를 생성하기 위한 선형 보간 계수를 s_{cl} , s_{cr} 이라고 했을 때, 두 계수간 차를 이등분한 값을 s_t 라고 하자. 카메라 C_{cl} 과 C_{cr} 의 위치는 C_0 에서 C_1 를 연결하는 벡터 $\overline{C_0C_1}$ 와 유클리디안 거리(Euclidean distance) $\|C_0C_1\|$ 를 이용하여,

$$C_{il} = C_i - t \cdot \frac{\overrightarrow{C_0 C_1}}{\|C_0 C_1\|} = ((s_i - s_t) \cdot C_x, (s_i - s_t) \cdot C_y, 0),$$

$$C_{ir} = C_i + t \cdot \frac{\overrightarrow{C_0 C_1}}{\|C_0 C_1\|} = ((s_i + s_t) \cdot C_x, (s_i + s_t) \cdot C_y, 0) \quad (4)$$

로 정의하며, 이 때 가상 스테레오 카메라간 베이스라인은 $2t$ 이다. s_t 는 사용자가 원하는 가상 카메라간 베이스라인 $E(=2t)$ 에 의하여,

$$\|C_{il} C_{ir}\| = \sqrt{(2 \cdot s_t \cdot C_x)^2 + (2 \cdot s_t \cdot C_y)^2} = E,$$

$$s_t = \frac{E}{2\sqrt{C_x^2 + C_y^2}} = \frac{E}{2 \cdot \|C_0 C_1\|} = \frac{t}{\|C_0 C_1\|} \quad (5)$$

와 같이 구할 수 있고, s_{il} 과 s_{ir} 은 다음과 같이 정의한다.

$$s_{il} = s_t - s_b, \quad s_{ir} = s_t + s_b. \quad (6)$$

식 (6)을 이용하면, 스테레오 가상 카메라 간격을 사용자가 원하는 대로 조절할 수 있다. 두 가상 카메라 간격을 사람의 양안 넓게 조절할 경우, 강조된 입체감을 제공할 수 있으며, 좁게 조절하면 감소된 입체감을 제공할 수 있으므로, 어플리케이션이나 사용자 요구에 따른 입체감을 조절하여 제공할 수 있다.

s_{il} , s_{ir} 을 이용하면 C_{il} 과 C_{ir} 에서 획득된 영상 I_{il} 과 I_{ir} 을 재생성 할 수 있다. I_{il} 과 I_{ir} 내의 각 영상 좌표 \mathbf{p}_{il} 과 \mathbf{p}_{ir} 은 I_0 과 I_1 에서의 두 대응점인 \mathbf{p}_0 과 \mathbf{p}_1 를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\mathbf{p}_{il/ir} = (1 - s_{il/ir}) \cdot \mathbf{p}_0 + s_{il/ir} \cdot \mathbf{p}_1 \quad (7)$$

이 때, $0 \leq s_{il/ir} \leq 1$ 이며, 표현의 편의를 위하여 ‘ \cdot ’ 는 ‘또는’의 의미로 사용하였다. 예를 들어 $\mathbf{p}_{il/ir}$ 은 \mathbf{p}_{il} 또는 \mathbf{p}_{ir} 을 의미한다.

영상 I_{0il} 내 좌표 (u, v) 에서의 화소 값 $I_{0il}(u, v)$ 은 입력 화소가 출력화 소로 사상되는 전방향 사상 (forward mapping) [9]에 의하여 $I_{il/ir}$ 로 사상되는데, 입력 화소로 I_0 를 사용했는지, I_1 를 사용했는지에 따라 식 (8)와 같이 $I_{il/ir,0}$, $I_{il/ir,1}$ 로 표현한다. 여기서 d_{0il} 은 I_{0il} 과 I_{1il} 간 시차 영상이다.

$$I_0(u, v) \rightarrow I_{il/ir,0}((1 - s_{il/ir})u + s_{il/ir}(u - d_0(u, v)), v),$$

$$I_1(u, v) \rightarrow I_{il/ir,1}((1 - s_{il/ir})(u + d_1(u, v)) + s_{il/ir}u, v) \quad (8)$$

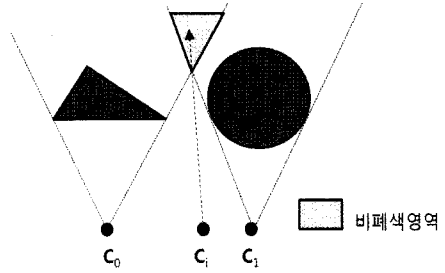


그림 5: 시점 보간에 의해 생성된 중간 시점 영상에서 비폐색 현상[8]

3.4 스테레오 일관성을 고려한 구멍 채우기

3.3 절에서 기술한 것과 같이 중간 시점의 스테레오 영상 I_{il} 과 I_{ir} 은 전방향 사상에 의하여 생성되었기 때문에 출력 영상 내 화소 값이 정의되지 않는 구멍 영역 (hole region)이 발생된다. 구멍이 발생하는 주 요인은 비폐색 (disocclusion) 현상 때문인데, 이는 그림 5 에 보이는 것과 같이 카메라 C_0 나 C_1 에서는 앞 쪽에 있는 물체에 가려서 보이지 않던 폐색 (occlusion) 영역이 중간 시점 영상을 생성하기 위한 가상 카메라 C_i 에 보여지는 경우, 해당 영역의 화소 값을 입력 영상에서 찾지 못하기 때문에 발생한다.

단일 영상을 생성하는 경우에는, 구멍 영역의 화소 값을 정의할 때 사전에 지정한 특정 색이나 주변 화소 값을 일괄적으로 복사하는 방법, 주변 화소의 선형 보간 값[7][8][11]을 이용하는 방법, 인페인팅 (inpainting) 기법[12] 등을 이용할 수 있다. 반면, 본 논문에서 제안하는 것과 같이 스테레오 영상을 재생성 하는 경우에는 위의 방법들을 이용하여 각각의 구멍 영역의 화소 값을 정의하게 되면 일관성 있는 화면 시차를 제공하지 못하기 때문에 깊이감을 재현할 수 없다. 따라서 스테레오 영상 재생성 시, 구멍 영역에서도 입체감을 느낄 수 있도록 화소 값을 정의해야 한다.

본 논문에서는 스테레오 영상 중 한 쪽 영상에서의 구멍 영역에 대하여 위의 기법들을 이용하여 화소 값을 정의하고, 정의된 화소 값이 나머지 한 쪽 영상에서의 구멍 영역에 매핑 되도록 하여 화면 시차를 가질 수 있도록 하였다. 구멍 영역은 앞서 설명한 것과 같이 뒤쪽에 있던 영역이 나타남에 따라 드러나는 영역이다. 따라서, 구멍 영역의 스캔 라인 양 끝 위치를 시차 영상에서 검색하여 작은 값과 동일한 변위를 갖는다고 가정하였다. 이 과정 후에 남은 구멍 영역에 대해서는 위의 기법 중 한 방법을 택하여 정의할 수 있다.

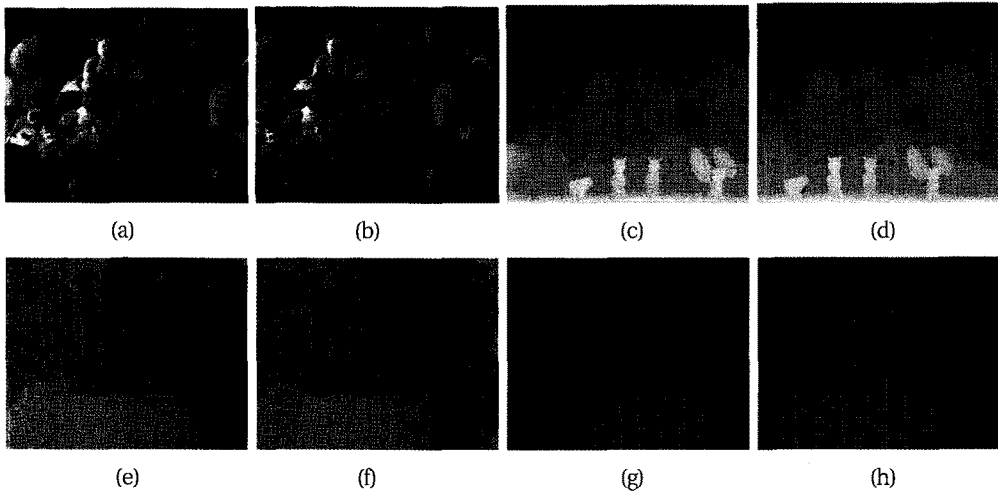


그림 6: 입력 스테레오 영상 및 시차 영상인 미들베리 데이터 Dolls ((a)-(d))와 Baby1 ((e)-(f))
 (a), (e): 좌안 영상 I_0 . (b), (f): 우안 영상 I_1 . (c), (d): {(a), (b)}간 시차 영상. (g), (h): {(e), (f)}간 시차 영상.

4. 실험 및 결과

본 장에서는 입력 스테레오 영상 및 시차 영상으로부터 중간 시점에서, 다양한 카메라 간격으로 재생성 한 스테레오 영상 결과를 보이고, 카메라 간격 변화에 따른 깊이감 및 입체감 정도를 측정하기 위해 수행한 사용자 평가 결과를 제시한다.

4.1 실험 영상

실험 영상으로는 컴퓨터 비전 분야에서 다양한 알고리즘 비교

분석을 위해 사용되는 미들베리(Middlebury) 스테레오 영상과 시차 영상(Dolls, Baby1)[13]을 사용하였다. 그림 6에 제시한 입력 스테레오 영상은 간격이 160mm 인 두 대의 카메라로 획득하여 영상 교정 및 렌즈의 왜곡 보정이 수행되었으며, 초점 거리는 3740 픽셀, 해상도는 463×370 (Dolls), 413×370 (Baby1)이다.

그림 6 (a)와 (e)를 그림 4에서 설명한 스테레오 좌안 영상 I_0 로, (b)와 (f)를 우안 영상 I_1 로 설정하였고, 좌안 및 우안 영상을 획득한 카메라의 위치는 각각 $C_0(0, 0, 0)$, $C_1(160, 0, 0)$ 로 정의하였다.

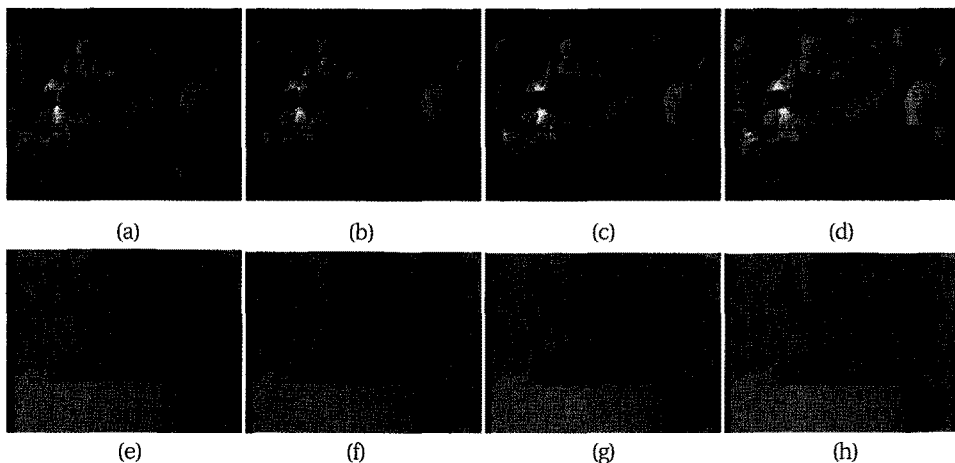


그림 7: 기준 시점 $C(80, 0, 0)$ 에서 재생성 한 스테레오 영상 적청 에너지리프 합성 결과.
 (a), (e): 카메라 간격 130mm. (b), (f): 카메라 간격 100mm. (c), (g): 카메라 간격 70mm. (d), (h): 카메라 간격 40mm.

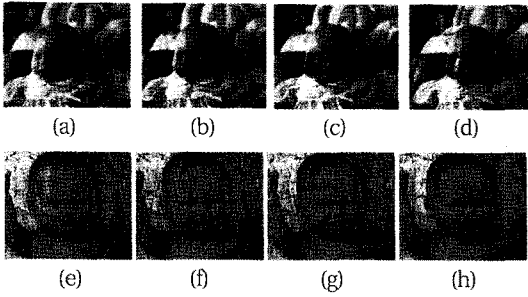


그림 8: 그림 7의 사각 영역을 확대한 영상

표 1: 그림 7 (a)-(h) 생성에 사용된 변수 값

그림 6	C_i	양안 간격 (mm)	s_i	s_{ll} / s_{lr}	C_{ll} / C_{lr}
(a),(e)	(80, 0, 0)	130	0.5	0.09375, 0.90625	(15, 0, 0) (145, 0, 0)
(b),(f)	(80, 0, 0)	100	0.5	0.18750, 0.81250	(30, 0, 0) (130, 0, 0)
(c),(g)	(80, 0, 0)	70	0.5	0.28125, 0.71875	(45, 0, 0) (115, 0, 0)
(d),(h)	(80, 0, 0)	40	0.5	0.37500, 0.62500	(60, 0, 0) (100, 0, 0)

4.2 카메라 간격 조절 결과

그림 7은 제안 방법에 따라 카메라 간격을 다르게 조절하여 재생성한 스테레오 영상을 적청 애너글리프 (red-blue anaglyph) 방식으로 합성한 결과를 보여준다.

그림 8은 카메라 간격 변화에 따른 화면 시차 변화를 자세히 보이기 위하여 그림 7의 사각 영역을 확대 하여 보여준다. 가상 카메라 기준 시점 C_i 의 위치는 (80, 0, 0)이며, 가상 스테레오 카메라 간격은 각각 130mm, 100mm, 70mm 및 40mm로, 각각의 선형 보간 계수 s_{ll} 과 s_{lr} 는 식 (7)을 이용하여 계산하였다.

그림 7의 스테레오 영상을 생성하기 위한 양안 간격, 선형 보간 계수 값 및 이에 따른 가상의 두 스테레오 카메라 위치 C_{ll} 와 C_{lr} 은 표 1에 정리하여 보인다.

4.3 중간 시점에서의 스테레오 영상 재생성 결과

본 절에서는 카메라 간격은 일정하게 고정하고, 기준 시점을 다르게 하여 재생성한 스테레오 영상을 결과를 제시한다.

그림 9는 카메라 간격을 60mm로 고정시키고 기준 시점 C_i 위치를 각각 (30, 0, 0), (60, 0, 0), (90, 0, 0), (120, 0, 0)로 조정하여 생성한 스테레오 영상을 적청 애너글리프 방식으로 합성한 결과이다.

비교를 위하여, 동일한 가로 위치에 기준선을 삽입하였다. 기준 시점이 오른쪽으로 이동함((a)→(d), (e)→(h))에 따라 (a)-(d)의 경우, 인형 코가 점차 왼쪽으로 이동하는 것을 관찰할 수 있고, (e)-(h)의 경우, 원통형 받침의 오른쪽 경계선이 왼쪽으로 이동하고 있는 것을 관찰할 수 있다.

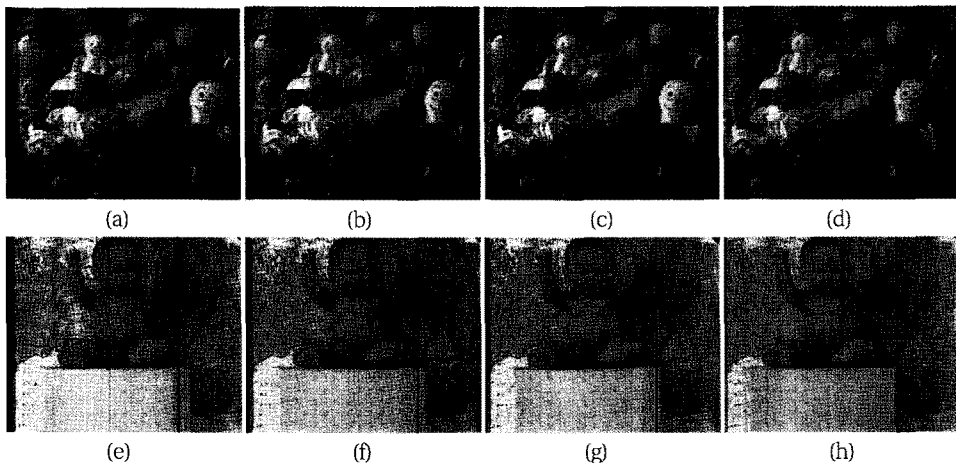


그림 9: 다양한 기준 시점에서 재생성한 스테레오 영상 적청 애너글리프 합성 결과 (카메라 간격: 60mm 고정)

(a), (e): C_i (30, 0, 0). (b), (f): C_i (60, 0, 0). (c), (g): C_i (90, 0, 0). (d), (h): C_i (120, 0, 0).

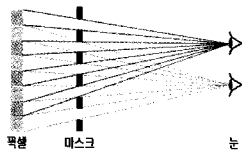
그림 9에 제시한 스테레오 영상을 생성하기 위한 가상 카메라의 기준 시점 C_l , 선형보간 계수 값 및 이에 따른 스테레오 가상 카메라의 위치 C_{il} 와 C_{ir} 은 표 2에 제시하였다.

표 2: 그림 9 (a)-(h) 생성에 사용된 변수 값

그림 9	C_l	양안 간격 (mm)	s_l	s_{il}/s_{ir}	C_{il}/C_{ir}
(a),(e)	(0, 30, 0)	60	0.1875	0.0000 / 0.3750	(0, 0, 0) / (60, 0, 0)
(b),(f)	(0, 60, 0)	60	0.3750	0.1875 / 0.5625	(30, 0, 0) / (90, 0, 0)
(c),(g)	(0, 90, 0)	60	0.5625	0.3750 / 0.7500	(60, 0, 0) / (120, 0, 0)
(d),(h)	(0, 120, 0)	60	0.7500	0.5625 / 0.9375	(90, 0, 0) / (150, 0, 0)



(a)



(b)

질문 1: 제시된 두 스테레오 영상의 깊이감이 다른가?

질문 2: 제시된 두 스테레오 영상의 입체감이 다른가?

(c)

그림 10: 3D 디스플레이 및 설문내용

4.4 사용자 평가 결과

제안한 방법에 의해 생성한 스테레오 영상이 사용자의 깊이감 및 입체감 인지에 영향을 미치는가를 실험하기 위하여 사용자 테스트를 하였다. 본 실험에는 20대 남녀 38명이 참여하였고, 이 중 13명은 스테레오 디스플레이를 사용한 경험이 있었다.

본 연구에서는 SeeReal 회사의 auto-stereoscopic 3D 디스플레이 (그림 10(a))를 이용하여 실험을 하였다. 이 장치의 스테레오 원리는 스크린 픽셀을 수직 방향으로 홀수와 짝수 컬럼으로 그룹화하여, 왼쪽 눈에는 홀수 컬럼의 픽셀들을 투영하고, 오른쪽 눈에는 짝수 컬럼의 픽셀들을 투영하는 방식이다 (그림 10(b)). 그러므로 입력 영상은 두 장의 스테레오

영상으로부터 OpenGL 스텐실 버퍼 마스크를 이용하여 홀수, 짝수 컬럼 픽셀들을 번갈아가 구성하였다.

실험 데이터로는 제안 방법에 의해 카메라 간격을 10mm와 70mm으로 설정하여 재생성한 스테레오 영상을 사용하였다. 사용자 테스트를 위한 실험에서 사용자에게는 두 스테레오 영상의 제작 방식을 알리지 않고 단지 영상을 관찰하게 한 후 설문에 응답하게 하였다.

이 때 깊이감 정도를 측정하기 위한 질문 1의 경우, 전체 응답자의 87%에 해당하는 33인이 제시된 두 영상 (10mm, 70mm) 간에 깊이감이 확실히 다르다고 응답하였다. 이 중 32명이 카메라 간격이 넓은 스테레오 영상이 간격이 좁은 스테레오 영상 보다 깊이감이 크게 느껴진다고 응답하였다. 또한, 10%인 4명이 약간 다르게 느껴진다고 응답하였고, 전혀 차이가 없다고 응답한 사람은 1명이었다.

입체감 (볼륨감) 정도를 물어보는 질문 2의 경우, 응답자의 71%인 27명이 입체감 정도가 확실히 다르다고 답하였고, 응답자 전원이 카메라 간격이 더 넓은 스테레오 영상에서 입체감이 더 크게 느껴진다고 답하였다. 또한, 18%인 8명이 입체감이 다르긴 하지만, 거의 유사하다고 답하였고, 3명이 입체감 차이가 전혀 없다고 응답하였다. 그림 11은 설문 내용에 응답한 결과를 그래프로 보여준다

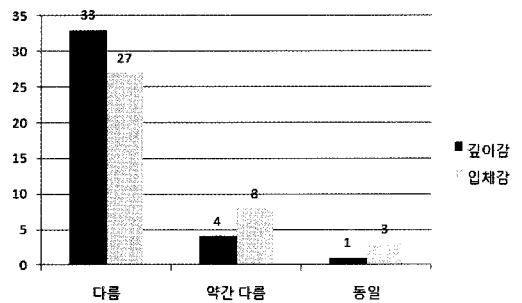


그림 11: 사용자 평가 결과

본 실험에 의해서 이미 생성된 스테레오 영상의 양안 간격을 조절함으로써 깊이감 및 입체감을 높이거나 낮추어 사용자에게 적절한 스테레오 영상을 생성할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 넓은 간격의 카메라로부터 획득된 스테레오 영상으로부터 시점 보간을 이용하여 카메라 위치 및 간격이

조절된 스테레오 영상을 재생성 하는 방법을 제안하였다.

제안 방법은 카메라 렌즈가 물리적으로 고정되어 있는 스테레오 카메라를 사용하거나, 두 대의 카메라를 원하는 위치 혹은 간격으로 배치하지 못 하는 경우 이를 물리적인 카메라 재배치 없이 교정할 수 있도록 하였다. 특히, 카메라 간격 조절하면 사용자가 원하는 깊이감 및 입체감을 지원할 수 있기 때문에 미리 촬영된 콘텐츠에 대하여 사용자 혹은 어플리케이션 맞춤형 3D 디스플레이가 가능하다.

감사의 글

이 논문은 2007년 정부 (교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구 결과임 (KRF-2007-357-D00235). 부분적으로 Seoul R&BD program (10581)에 의해 지원을 받았음.

참고문헌

- [1]O. Schreer, P. Kauff and T. Sikora, "3D Video Communication: Algorithm, Concepts and Real-time Systems in Human Centered Communication", *John Wiley & Sons, Ltd*, 2005.
- [2] A. Ariyaeinia, Analysis and design of stereoscopic television systems, *Signal Processing : Image Communication*, Vol. 13, No. 3, pp.201-208, 1998.
- [3]P. Milgram and M. Kruger, Adaptation effects in stereo due to on-line changes in camera configuration, *SPIE Vol. 1669 Stereoscopic Display and Applications III*, pp.122-134, 1992.
- [4] Bumblebee2 CCD Camera, *Point Grey Corporation*.
- [5]I. Sexton and P. Surman Stereoscopic and auto stereoscopic display systems, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 16, No. 3, pp.85-99, 1999.
- [6]N. A. Dodgson, Autostereoscopic 3D Display, *IEEE Computer*, pp. 31-36. 2005.
- [7] S. M. Seitz and C. R. Dyer, "View Morphing", *Proceedings of SIGGRAPH 1996*, pp.21-30, 1996.
- [8]S. E.Chen and L. William, "View Interpolation for Image Synthesis", *20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp.279-288, 1993.
- [9]D. Scharstein and R. Szeliski, "A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 47, No.1-3, pp.7-42, 2002.
- [10]A. Fusiello, E. Trucco, A. Verri and Ro Verri, "A Compact Algorithm for Rectification of Stereo Pairs", 1999.
- [11]A. Criminisi, A. Blake, C. Rother, J. Shotton and P. H. S.Torr, "Efficient Dense Stereo with Occlusions for New View-Synthesis by Four-State Dynamic Programming", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 71, No. 1, pp.89-110, 2007.
- [12]M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles and C. Ballester., "Image Inpainting", *Proceedings of SIGGRAPH 2000*, , pp. 417-424, 2000.
- [13] Middlebury Stereo Data, <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/>

〈저자소개〉

이선민



- 1999년 이화여자대학교 컴퓨터학과 학사
- 2001년 이화여자대학교 컴퓨터학과 석사
- 2007년 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사
- 2007년 이화여자대학교 컴퓨터그래픽스/가상현실 연구센터 박사후 연구원
- 2008년-2009년 University of Southern California 박사후 연구원
- 2010년-현재 삼성전자 종합기술원
- 관심분야 : 가상 및 증강현실, 컴퓨터 그래픽스, HCI, 3D Vision 등

최수미



- 1993년 이화여자대학교 전자계산학과 학사
- 1995년 이화여자대학교 전자계산학과 석사
- 2001년 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사
- 1998년 독일 프라운호퍼 컴퓨터그래픽스 연구소 (FhG?IGD) 방문연구원
- 2001년~2002년 이화여자대학교 정보통신연구소 연구교수
- 2008년~2009년 스위스 취리히 연방공과대학교 (ETH Zurich) 방문교수
- 2002년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, HCI, 가상현실, 의료 영상처리, 유비쿼터스 컴퓨팅 등

최종무



- 1996년 성균관대학교 물리학과 학사
- 1999년 성균관대학교 인지과학협동과정 석사
- 2003년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사
- 2004년~2006년 성균관대학교 지능시스템연구센터 연구교수
- 2006년 ~ 현재 University of Southern California 연구원
- 관심분야 : 컴퓨터 비전, 로봇틱스, HCI.