

구간 평면 모델을 사용한 곡면 스크린 상의 영상 왜곡 보정

정희원 이 경 미*, 종신회원 이 병 옥*

Compensation of Image Distortion on a Curved Screen using a Piecewise Planar Model

Kyung-Mi Lee* *Regular Member*, Byung-Uk Lee* *Lifelong Member*

요 약

몰입감을 주기 위한 초대형 화면을 생성하기 위하여 원통이나 구 모양의 곡면 스크린의 사용이 증가하고 있다. 기존의 방법에서 스크린을 2차 곡면으로 모델링하여 영상이 스크린의 3차원 평면위에 투영되는 대응점을 찾기 위하여 2차 행렬을 이용한다. 기하학적 영상 보정 후에도 스크린의 모양에 약간의 변화나 움직임이 생길 경우에 2차 행렬이 변하게 된다. 본 논문에서는 스크린의 움직임 및 변화가 작은 경우 약간의 움직임에 의해 변형된 2차 행렬을 구하기 위해 3차원 정보를 새로이 구하지 않고, 스크린을 부분적인 평면으로 근사하여 영상의 기하학적 왜곡을 보정을 하는 방법을 제안하였다. 실제 프로젝터로 곡면 스크린에 영상을 투영한 후 스크린을 움직였을 때 스크린의 움직임에 대해 제안한 부분적 평면 근사화 방법으로 왜곡을 보정하는 실험을 통해 스크린이 움직이기 전과 동일한 결과를 얻었다.

Key Words : Image Distortion Compensation, Quadric Matrix, Piecewise Planar Approximation, Projection, Non Planar Screen

ABSTRACT

Non-planar screens such as cylinder and sphere shaped screens are widely used for high-resolution immersive visualization environments. An existing method employs quadric matrix that maps an image onto a curved screen. However if the shape of the screen changes or moves, the quadric matrix will not be valid. In this paper, we assume that the screen is a quadric shape and the screen movement or change are relatively small. Then we propose to use a piecewise planar approximations for the screen to compensate for the geometric distortion on a non-planar screen. We demonstrate the effectiveness and efficiency of the proposed method through experiments.

I. 서 론

대형 영상을 디스플레이하는 경우 평면 스크린이 아닌 곡면이나 자유 평면을 사용하는 응용분야가 확대 되고 있다. 이를 위하여 투영 영상의 기하학적 위치 보정 및 색상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁴⁾.

가상현실의 디스플레이를 위한 스크린이 평면이 아닌 임의의 형태 및 색상을 갖고 있는 경우 스크린의 형태 및 색상을 측정하고 모델링하여 보정하여야 한다. 특히 기하학적 왜곡의 경우 카메라를 이용하여 스크린의 3차원 기하학적 정보를 획득하여 이를 보정할 수 있다.

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음.

* 이화여자대학교 전자공학과 (bulee@ewha.ac.kr)

논문번호: KICS2008-04-155, 접수일자: 2008년 4월 4일, 최종논문접수일자 2010년 1월 20일

Raskar 등은 2차 곡면 스크린에 투영된 영상의 기하학적 왜곡을 보정하는 방법으로 스크린의 3차원 정보를 2차 행렬로 나타내고 관측 카메라 및 프로젝터의 투영 행렬과 epipole을 사용하는 방법을 소개하였다⁵⁾. 본 논문에서는 이를 토대로 2차 곡면 스크린의 미세한 변화 혹은 움직임이 발생하였을 때 스크린을 부분적인 평면으로 근사하여 변화된 스크린에 대한 기하학적 보정을 하는 방법을 제안하였다.

먼저 II 절에서 기존의 2차 곡면 스크린에 대한 기하학적 보정에 대한 기존의 방법을 소개한다. 스크린의 미세한 변화와 움직임에 따른 기하학적 보정 방법을 III 절에서 제시하고, IV 절에 실제 환경에서의 실험 결과를 보여준 후, 다음 절에 결론을 맺는다.

II. 곡면 스크린의 2차 변환에 대한 보정

본 절에서는 Raskar 등이 제안한 2차 변환⁵⁾ 방법을 사용하여 2차 곡면의 스크린에 투영한 영상을 보정하는 방법을 설명한다.

2차 변환은 카메라와 프로젝터의 2차원 영상 좌표를 대응시키는 방법이다. 이때 카메라와 프로젝터의 투영 행렬과 프로젝터의 epipole 및 스크린의 2차 행렬을 알면 2차 변환을 구할 수 있다. 2차 변환을 이용하면 카메라와 프로젝터의 2차원 영상 사이의 관계를 나타낼 수 있다. 이때 카메라의 투영 행렬을 $[I|0]$ 로 변환하면, 프로젝터의 투영 행렬은 $[P|e]$ 가 된다. 카메라의 투영 행렬을 $[I|0]$ 로 변환하여주는 이유는 카메라를 기준으로 하여 3차원 좌표를 바꾸어 주면 카메라와 프로젝터의 대응 관계를 쉽게 알아낼 수 있기 때문이다. 두 대의 카메라로 구한 3차원 좌표 (동차 좌표계로 표현)를 이용하여 스크린의 4×4 2차 행렬을 구할 수 있다. 이 2차 행렬을 구하기 위해 9개 이상의 점의 좌표가 필요하다.

$$Q = \begin{bmatrix} a & b & c & d \\ b & e & f & g \\ c & f & h & i \\ d & g & i & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{33} & q \\ q^T & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2차원 프로젝터 영상 좌표인 X' 와 카메라 영상 좌표인 X 의 관계는 동차 좌표계로 표현되며, 관계식은 다음과 같다. 기호 \cong 는 식을 동차 좌표계로 표현하여 scale에 관계없이 식이 성립함을 의미한다.

$$X' \cong PX - (q^T X \pm \sqrt{(q^T X)^2 - X^T Q_{33} X})e \quad (2)$$

식 2에서 \pm 의 부호는 스크린이 오목함 또는 볼록함을 나타내며, 2차 변환에서 임의의 한 대응점을 대입하여 결정된다. 결정된 부호는 모든 대응점에서 동일한 부호를 사용할 수 있다.

식 2는 다음과 같이 간략하게 표현할 수 있다.

$$A \equiv P - eq^T \quad E \equiv qq^T - Q_{33} \\ X' \cong AX \pm (\sqrt{X^T EX})e \quad (3)$$

식 3에서 2차 변환은 A 와 E , e 의 인자로 표현이 되며, 21개의 자유도가 존재한다.

2차 변환을 실제 환경에서 실험을 할 경우 카메라 캘리브레이션과 2차 행렬 등에서 오차가 발생할 수 있다. 즉, 2차 변환 오차가 발생한다. 따라서 2차 변환의 21개의 변수 A 와 E , e 에 대한 비선형 최적화 과정이 필요하다⁵⁾. 최적화를 위한 목적함수는 다음과 같이 제곱오차의 합을 사용한다.

$$\epsilon = \sum_i (\hat{X}_i - X_i)^2 \quad (4)$$

목적함수는 비선형 최적화과정을 통해 이상적인 카메라 영상의 좌표 X 와 실제로 스크린을 촬영한 카메라 영상 좌표인 \hat{X} 의 차이를 모든 화소에 대해 구해 그 제곱의 합을 최소한으로 줄이도록 한다. 본 논문에서도 Raskar 등이 사용한 비선형 최적화 방법인 Nelder-Mear Simplex 방법을 사용하였다⁵⁾.

III. 스크린에 부분적인 평면화 모델을 적용한 보정

2차 변환에 의해 기하학적 보정이 이루어진 후에도 스크린에 변화가 생길 수 있다. 시간이 지나면 여러 가지 요인에 의해 스크린이 변할 수 있는데 진동이나 외부의 힘에 의해 스크린이 움직이거나, 열에 의해 스크린의 형태가 변할 수가 있다. 또한 프로젝터의 미세한 움직임도 스크린의 상대적인 변화와 같은 효과를 발생시킨다. 2차 변환에 의해 보정이 된 영상을 투영하는 도중 스크린에 변화가 생기면 기하학적 왜곡이 발생하게 된다. 2차 변환 방법을 이용하여 기하학적 보정을 하기 위해서 스크린의 3차원 좌표를 새로이 측정하여야 하고 이로 부터 2차 행렬을 다시 계산하여야 한다. 이러한 번거로운 과정을 생략하기 위해 본 논문에서는 스크린의 곡면이 급격하게 변하지 않고 부드럽게 변하는 경우 움직인 스크린을 부분적인 평

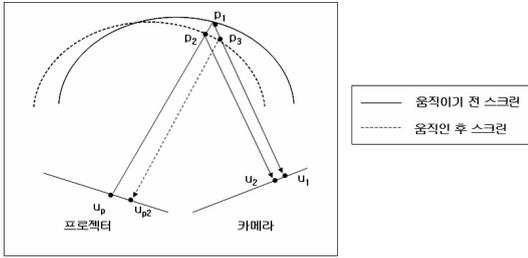


그림 1. 스크린이 움직이기 전과 후의 대응점 관계

면으로 근사하여 스크린의 움직임을 보충한다. 움직인 스크린에 대한 몇 개의 특징 점에서의 3차원 정보만을 이용하여 스크린을 부분적인 평면으로 근사하면 근처 영상에 대한 기하학적 보정이 가능하다.

카메라와 프로젝터가 고정되어 있는 경우 카메라에 의해 얻어진 영상의 좌표가 이동을 하였다면, 스크린이 움직이거나 변화하였다는 것을 알 수 있다. 다시 말하여 스크린의 움직임이나 변화는 2차 행렬에만 영향을 주고, 카메라와 프로젝터의 투영 행렬에는 영향을 주지 않는다.

스크린이 움직이기 전에 2차 변환에 의해 보정을 하여 얻은 프로젝터의 영상과 카메라 영상의 대응점을 각각 u_p 와 u_1 라고 하자. 이때 u_p 와 u_1 에 의해 실제 스크린에 상이 맺히는 점을 p_1 이라고 하자. 그러나 스크린이 움직인 후에 스크린에 프로젝터 영상의 점 u_p 를 투영하면 스크린에 상이 맺히는 점은 p_1 이 아닌 p_2 가 된다. 카메라에 의해 획득된 영상에서의 점 역시 u_1 가 아닌 u_2 가 된다. 즉, 카메라의 위치에 관찰자가 있다는 전제하에 카메라에 의해 획득된 영상에 기하학적 왜곡이 생기는 것이다.

스크린이 움직인 후에도 카메라에 의해 획득된 영상에 기하학적 왜곡이 없기 위해서는 u_2 가 아닌 u_1 의 위치에 영상이 존재하여야 한다. 움직인 스크린에 대해서 카메라의 영상의 u_1 에서 영상이 얻어지기 위해서는 프로젝터에서 점 u_{p2} 를 쏘고, 움직인 스크린 위의 점은 p_3 이 되어야 한다. 그러나 움직인 스크린의 모양을 새로 측정하지 않으면 p_3 와 u_{p2} 의 위치를 알 수 없다. 따라서 3차원 공간 좌표인 p_3 를 알아내야 한다.

스크린이 움직인 후에 프로젝터의 영상과 카메라의 영상으로부터 두 개의 대응점 u_p 와 u_2 가 존재하므로, 그림 2와 같이 두 직선사이의 거리가 가장 가까운 선분을 찾고, 그 선분의 중간 지점을 두 직선의 교차점으로 간주하여 3차원 공간 좌표 p_2 를 구할 수 있다.

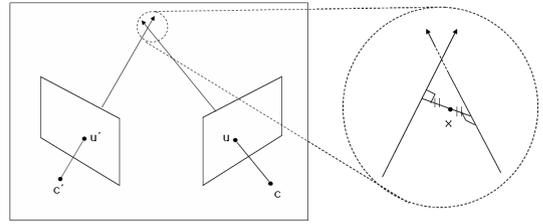


그림 2. 3차원 공간 좌표 획득 방법

이때 스크린의 곡률이 작아서 천천히 변한다는 가정을 한다. 즉, 스크린이 움직인 후의 3차원 공간 좌표인 p_2 를 지나는 평면을 만들면 그 평면이 부분적으로 스크린의 모양과 비슷할 것이라고 가정한다.

우선 스크린 위의 점 p_2 에서의 법선 벡터는 움직인 스크린 위에서 p_2 주변의 3개의 점을 이용하여 알아낼 수 있다. 이때 주변의 3점은 3차원 보간법을 이용하여 구할 수가 있다.

3차원 공간 좌표의 점 p 주변의 세 점들 p_a, p_b, p_c 라고 할 때, 법선 벡터 S_N 을 아래의 식과 같이 구할 수 있다.

$$S_N = \overrightarrow{p_a p_b} \times \overrightarrow{p_a p_c} \quad (5)$$

이때 점 $p_2 = (p_{x2}, p_{y2}, p_{z2})^T$ 에서의 법선 벡터를 $S_N = (s_x, s_y, s_z)^T$ 라고 하면 점 p_2 를 지나는 평면의 방정식은 다음과 같다.

$$s_x(x - p_{x2}) + s_y(y - p_{y2}) + s_z(z - p_{z2}) = 0 \quad (6)$$

카메라 영상의 좌표 u_1 을 3차원 공간 좌표로 바꾼

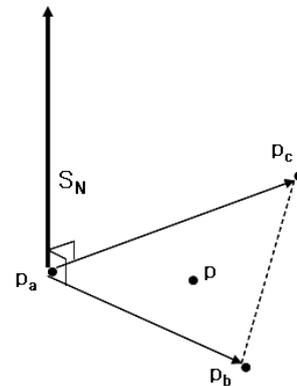


그림 3. 3차원 공간 좌표에서의 법선 벡터

점과 카메라의 중심 $c = (x_c, y_c, z_c)^T$ 를 있는 선분의 방향 벡터를 정규화 한 것을 $d_v = (d_x, d_y, d_z)^T$ 하면 방향 벡터 d_v 와 평면이 만나는 3차원 공간 좌표 p_3' 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$p_3' = (d_x t + x_c, d_y t + y_c, d_z t + z_c) \quad (7)$$

$$\text{단, } t \equiv \frac{(s_x, s_y, s_z) \cdot (P_{x2} - x_c, P_{y2} - y_c, P_{z2} - z_c)}{(s_x, s_y, s_z) \cdot (d_x, d_y, d_z)}$$

실제로 스크린의 모양이 천천히 변하기 때문에 p_3' 와 실제 3차원 공간 좌표인 p_3 의 오차는 아주 작다. 따라서 p_3' 를 p_3 로 간주하면 프로젝터의 프로젝션 행렬을 알고 있으므로 p_3' 에 프로젝터의 프로젝션 행렬을 곱함으로써 프로젝터의 영상 좌표를 구할 수 있게 된다. 그 좌표는 스크린의 곡률이 작다고 가정을 하였으므로 u_{p2} 와 큰 차이가 없는 위치가 된다.

이때 부분적인 평면화를 위해 스크린을 많은 수의 부분적인 평면으로 나누게 되면 더 정확한 위치를 찾을 수 있다. 곡률이 상대적으로 큰 경우의 스크린에 대해서는 보다 더 작게 나누어 평면화를 하는 것이 더 효과적이다. 그러나 반대로 곡률이 작은 경우는 스크린을 평면 조각으로 많이 나누지 않아도 된다. 이를 스크린을 구라고 가정하고 스크린의 곡률의 변화를 구의 반지름의 크기의 변화로 보고 시뮬레이션하여 확인해 보았다. 구의 반지름 R 이 커지면, 스크린의 곡률은 작아지고, R 이 작으면, 스크린의 곡률은 커진다. R 이 커질수록 이상적인 위치와 움직인 위치의 차이의 제공 평균 오차인 RMS가 작아지는 것을 표 1에서 확인할 수 있다. 또한 오목한 스크린과 볼록한 스크린이 같은 반지름이더라도 오목한 스크린보다 볼록한 스크린의 오차가 더 큰 것을 알 수 있다.

위의 과정을 통해서 스크린이 움직이기 전과 후의

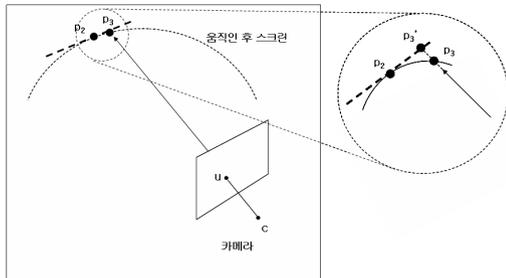


그림 4. 스크린의 부분적인 평면화

표 1. 스크린의 반지름 변화에 따른 제공평균 오차

스크린의 반지름 R	오목한 스크린 오차 (RMS)	볼록한 스크린 오차 (RMS)
70	2.46	3.56
100	1.43	1.77
150	0.70	0.80
200	0.41	0.45
300	0.19	0.20
400	0.11	0.11

프로젝터의 영상과 카메라의 영상의 대응점을 이용하여 스크린이 움직인 후에 카메라에 의해 획득된 영상의 위치가 스크린이 움직이기 전과 동일하도록 간단하게 기하학적 보정을 할 수 있다.

IV. 실험 결과

실험에 사용한 프로젝터는 Infocus LP600이고, 실험에 사용한 2대의 ccd 카메라 기종은 FLEA-HICOL-CS이다. 카메라는 실시간 비디오 카메라로 해상도는 1024×768 픽셀이다. 곡면 모양으로 휘어진 스크린을 사용하여 앞쪽에서 보았을 때 오목한 부분과 볼록한 부분을 사용하여 두 가지 형태의 스크린에 대한 실험을 하였다. 이때 평면 스크린의 크기는 가로 109cm, 세로 77cm이고, 곡면 스크린은 평면 스크린을 구부렸을 때, 현의 길이는 60cm이다. 스크린의 3차원 정보를 얻어내기 위해 두 대의 카메라를 사용하였는데, 이 중 한 대의 카메라를 기준으로 선택하여 영상의 기하학적 보정을 해준다.

우선 두 대의 카메라를 이용하여 카메라의 투영 행렬을 구한다. 형태가 2차 곡면에 가까운 스크린에서 120개의 특징 점을 뽑을 수 있는 사각 패턴을 쏘아 두 대의 카메라로 스크린위의 패턴을 촬영하였다. 두 대

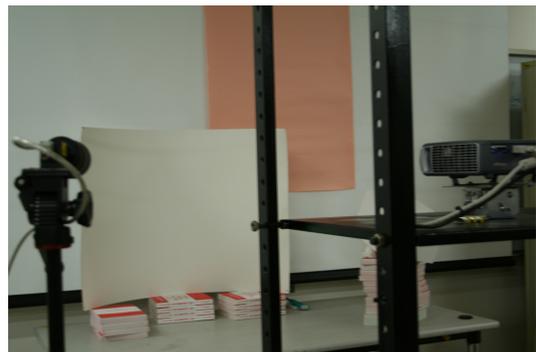


그림 5. 실험 환경

의 카메라에 의해 얻어진 영상들의 특징 점을 추출하여 3차원 정보를 구하고, 이를 이용하여 스크린의 2차 행렬을 구한다. 또한 기준 카메라에 의해 얻어진 영상과 패턴을 이용하여 프로젝터의 투영 행렬도 구할 수 있다.

이렇게 구해진 카메라와 프로젝터의 투영 행렬과 스크린의 2차 행렬을 기준 카메라를 중심으로 바꾸어 준다. 즉, 카메라의 투영 행렬은 $[I|0]$, 프로젝터의 투영 행렬은 $[P|e]$ 가 되도록 한다. 2차 행렬은 행렬의 (4,4) 자리에 있는 원소에 의해 정규화 시켜 사용한다.

위에서 얻어진 정보를 이용하면 식 3에 의해 2차 변환이 결정된다. 그리고 기준 카메라에 찍힌 패턴 영상을 이용하여 디스플레이가 가능한 최대한 큰 영역을 선택한다. 이 영역은 촬영한 영상의 패턴 안에 들어갈 수 있는 가장 큰 직사각형으로 결정한다 (그림 6의 (a),(c)). 결정한 영역에 맞게 이상적인 영상을 만들어 주고, 이 이상적인 영상을 기준으로 오차를 계산한다. 결정한 영역에 이상적인 영상이 보이도록 앞에서 구한 2차 변환에 의해 투영할 영상을 미리 왜곡시킨다. 미리 왜곡시킨 영상을 프로젝터로 투영하면 이상적인 영상이 나온다. 그리고 비선형 최적화 과정을 거쳐 세밀한 영상의 위치 보정을 하였다. 미리 왜곡시킨 영상을 프로젝터로 쏘게 되면 그림 6의 (b), (d)와 같은 결과가 나오며, 이상적인 영상의 좌표와 기하학적 보정영상 좌표의 제곱평균오차를 표 2에 표기하였다. 오차는 1픽셀 정도로 이상적인 영상과 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.

스크린이 움직인 후 기하학적 보정을 위해서 III에

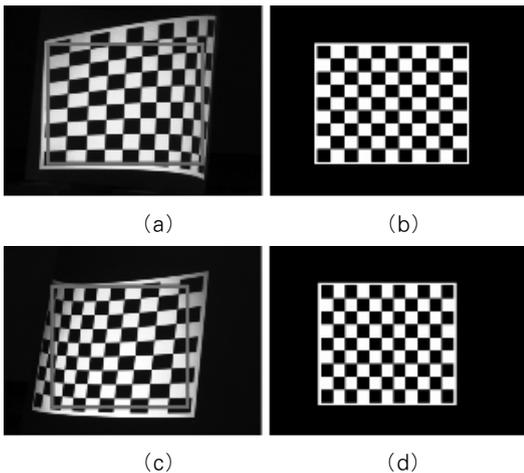


그림 6. (a)오목한 스크린에 영상을 투여한 후 카메라로 촬영한 영상, (b)(a)의 보정영상, (c) 볼록한 형태의 스크린에 영상을 투여한 후 카메라로 촬영한 영상, (d) (c)의 보정영상

표 2. 2차 변환 실험 결과의 제곱평균 오차

제곱평균 오차 (pixel)	오목한 스크린	볼록한 스크린
왜곡 보정 후	1.28	1.29

서 언급한 것과 같이 스크린의 곡률이 완만하기 때문에 스크린의 지역적인 평면화를 이용하여 스크린의 움직임에 대한 기하학적 왜곡 보정을 할 수 있다.

스크린을 부분적인 평면화를 하기 위한 스크린을 부분적으로 나눈 조각은 그림 6에서 보이는 패턴을 그대로 사용하여 99개 이다. 스크린이 움직인 후 특징 점에 대한 3차원 공간 좌표를 구하기 위해서 동일한 프로젝터 영상과 스크린이 움직인 후 왜곡이 된 카메라 영상을 이용하였다. 이때 스크린이 움직인 후의 기하학적 보정이 가능한 가장 큰 영역은 이전 실험과 동일하게 하였다.

스크린이 움직인 후의 각 특징 점에서의 평면을 구하기 위해서는 법선 벡터를 구한 과정은 다음과 같다. 식 6과 같이 법선 벡터를 구하기 위해서는 주변의 3점이 필요한데 120개의 특징 점 사이의 거리가 멀어 법선 벡터를 구했을 때 오차가 클 것이기 때문에 3차원 보간법을 이용하여 그림 1에서 설명하는 점 p_2 에서 가장 가까운 3차원 공간 좌표를 구하였다. 이때 사용한 3차원 보간법은 cubic cardinal spline이다.

위에서 구한 법선 벡터를 이용하여 스크린을 99개의 부분적인 평면 조각으로 나누어서 프로젝터에서 투영할 영상을 만들고, 그 영상을 움직인 스크린에 투

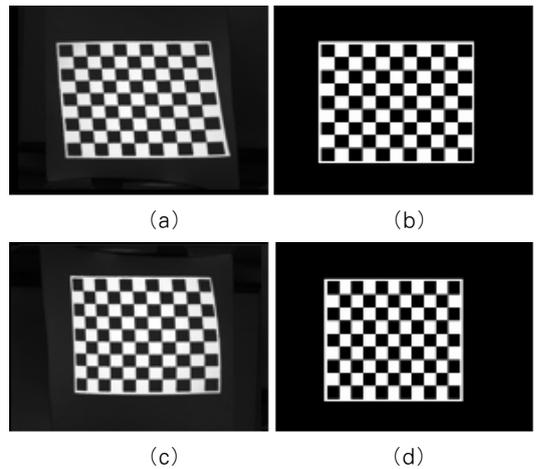


그림 7. 부분적인 평면화에 의한 기하학적 보정 결과 (a)오목한 스크린 움직임으로 인해 왜곡된 영상, (b) (a)의 보정 결과, (c)볼록한 스크린 움직임으로 인해 왜곡된 영상, (d) (c)의 보정 결과

영한 결과가 그림 7과 같다. 오차를 이전 실험과 동일한 방법으로 계산하여 표 3에 기록하였다. 또한 오차 보정비율도 백분율로 표 3에 표시하였다. 오목한 스크린과 볼록한 스크린이 움직였을 때 오차가 볼록한 스크린이 큰 이유는 스크린의 곡률의 차이 때문이고, 실제 보정후의 오차는 1픽셀 정도로 비슷하다. Checkerboard의 각 사각면의 세로와 가로길이의 상대 오차는 표 4에 백분율로 표시하였다. 표에서 보는 바와 같이 가로와 세로의 오차가 매우 정확해진다. 그림 7에서 시각적으로 볼 때에 사각형의 형태가 매우 만족스럽게 보정되는 것을 인지 할 수 있어서 주관적 화질 개선 효과가 큰 것을 알 수 있다.

이 방법은 스크린이 움직이기 전의 스크린에 대한 정보가 필요가 없고, 스크린 위의 모든 점에 대해 3차원 정보를 구할 필요가 없다. 또한 스크린이 2차 곡면이 아닌 임의의 형태를 갖더라도 곡률만 작다면 보정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 방법의 단점은 스크린이 부드럽게 변하지 않고, 곡률이 클 경우에는 보정이 잘 안 된다는 것이다. 따라서 스크린의 곡률이 더 클 경우에는 스크린을 조각으로 나눌 때 조각을 더 많이 나누어서 보정할 수도 있다.

표 3. 부분적인 평면화 방법의 오차

제공평균 오차 (pixel)	오목한 스크린	볼록한 스크린
움직임 보정 전	20.94	87.22
움직임 보정 후	1.64	1.19
오차보정비율	8%	1%

표 4. Checkerboard의 각 사각면의 가로세로길이의 상대 오차

상대 오차 %		오목한 스크린	볼록한 스크린
가로오차	보정전	11.42%	44.55%
	보정후	1.71%	1.48%
세로오차	보정전	44.29%	150.92%
	보정후	1.23%	1.46%

V. 결 론

본 논문에서는 2차 곡면 스크린에 영상을 투영할 때 발생하는 기하학적 왜곡을 기존의 논문에서 제안한 2차 변환을 이용하여 보정을 하고, 스크린이 움직였을 경우에 대한 간단한 기하학적 보정에 대한 방법을 제안하였다.

스크린의 부분적인 평면화에 의한 보정 방법은 움직이기 전의 스크린에 대한 정보가 필요가 없고, 움직인 스크린에 대한 3차원 정보를 다 알아야 할 필요가 없다는 장점이 있다. 이 방법은 스크린의 곡률이 작아야 하는 제한이 있지만, 2차 곡면 스크린에만 제한되어 있는 것이 아니라 스크린의 곡률이 작은 경우 어떠한 형태라도 스크린의 움직임을 보정하여 줄 수 있는 장점이 있다.

스크린 곡률과 이동 정도에 따라서 평면 모델의 개수가 변해야 한다. 이를 위한 정량적인 분석 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] R. Raskar, J. van Baar, P. Beardsley, T. Willwacher, S. Rao, and C. Forlines, "iLamps: Geometrically aware and self-configuring projectors," *ACM Trans. Graph.*, vol. 22, no. 3, pp. 809-818, 2003
- [2] O. Bimber, A. Emmerling and T. Klemmer, "Embedded Entertainment with Smart Projectors," *IEEE Computer*, vol. 38(1), pp. 48-55, 2005
- [3] R. Yang and G. Welch, "Automatic and continuous Projector Display Surface Calibration Using Every-Day Imagery," *Proc. of 9th International Conf. in Central Europe in Computer Graphics, Visualization, and Computer Vision*, 2001
- [4] J. van Baar, T. Willwacher, S. Rao, and R. Raskar, "Seamless multi-projector display on curved screens," *Proc. Eurographics Workshop on Virtual Environments (EGVE) 2003*, pp. 281-286, 2003
- [5] R. Raskar, J. van Baar, T. Willwacher, and S. Rao, "Quadric transfer for immersive curved screen displays," *Proc. EUROGRAPHICS 2004*, pp. 451-460, 2004

