

직선의 방정식을 기반으로 한 프로젝터 영상의 기하왜곡 보정[☆]

Geometric Distortion Compensation of Projector Image based on Equation of Straight Line

정 정 일*
Jungil Jung

조 진 수**
Jinsoo Cho

요 약

본 논문에서는 평면 스크린을 사용할 수 없는 휴대형 프로젝터의 사용 환경에서 평면이 아닌 임의의 영상면(혹은 벽면)의 기하학적 형태에 의해 발생하는 영상의 기하학적 왜곡을 효과적으로 보정할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 먼저 격자패턴을 임의의 영상면에 영상한 후 영상면의 형태에 따라 왜곡된 격자패턴과 원본 격자패턴 간의 기하학적 관계를 나타내는 직선의 방정식을 도출한다. 다음으로 영상면의 기하학적 형태에 따라 적절하게 적용될 수 있는 원본 격자패턴의 크기를 결정하여 도출된 직선의 방정식으로부터 왜곡된 영상을 대칭적으로 보정할 수 있는 보정패턴을 생성한다. 최종적으로 프로젝터로부터 영상될 실제 영상을 격자패턴과 동일하게 분할하여 보정패턴에 맞게 미리 워핑(warping)함으로써 영상된 영상의 기하학적 왜곡을 보정한다. 제안한 방법의 성능 평가를 위하여 평면 스크린을 사용할 수 없는 영상 환경에서 자주 접할 수 있는 영상면 형태들인 기울어진 평면, 꺾인 평면 및 곡면을 대상으로 영상 영상 보정에 대한 실험을 진행하였다. 실험결과로부터 일반적으로 발생하는 몇 가지 영상면의 형태들에 인한 기하학적 왜곡들이 적절히 보정되어 제안한 방법이 영상 영상의 기하학적 왜곡을 매우 효과적으로 보정할 수 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a method that can compensate the geometric distortions of image caused from an arbitrary nonflat display surface(or wall) under the environment of portable overhead projector without a flat screen. In the proposed method, we first project a grid pattern to an arbitrary nonflat display surface and then derive an equation of straight line that represents the geometry relationship between the distorted grid pattern and the original grid pattern. Next, after determining the proper size of the original grid pattern according to the form of the display surface, we generate a compensation pattern from the derived equation of straight line, which can symmetrically compensate for the distorted image. Finally, we compensate for the geometric distortions of the projected image by segmenting the real image to be projected from portable overhead projector and prewarping it according to the compensation pattern. To evaluate the proposed method, we performed experiments of image compensation on inclined surface, bent surface and curved surface that are frequently occurred in the environment of portable overhead projector without a flat screen. From the experimental results, we found that the proposed method could be very effective in compensating for the general types of the geometric distortions of the projected images.

☞ KeyWords : Camera-projector system(카메라-프로젝터 시스템), geometry distortion compensation(기하왜곡 보정), equation of straight line(직선의 방정식).

1. 서론

휴대형 프로젝터는 소형 멀티미디어 기기들로부터 입력된 정보를 평면 스크린에 영상함으로써, 대형화면과 더불어 고화질의 영상을 사용자에게

* 정 회 원 : 경원대학교 일반대학원 전자계산학과(석사)
jungjin2623@nate.com

** 정 회 원 : 경원대학교 IT대학 컴퓨터공학과 조교수
jscho@kyungwon.ac.kr(교신저자)

[2010/07/08 투고 - 2010/07/11 심사 - 2010/08/12 심사완료]

☆ 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-D00737)

☆ 본 연구는 2010년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

제공할 수 있다. 그러나 일반적인 휴대형 프로젝터의 사용 환경에서는 평면 스크린이 설치된 경우가 많지 않으며, 벽면과 같이 평면 스크린과 유사한 영사면이 있다 하더라도 영사면의 왜곡에 따라 영사 영상에서 휨이나 찌그러짐 등과 같은 기하학적 왜곡이 발생하게 되는 경우가 많다. 따라서 이와 같은 영상의 왜곡을 보정하기 위하여 기존 연구들에서는 거리 측정 기기나 스테레오 카메라 등과 같은 장비들로 영사면의 정보를 모델링하여 영상에 나타나는 왜곡을 보정하고자 하였다[1-4]. 그러나 거리측정 기기나 스테레오 카메라 등과 같은 고가의 장비들을 이용한 영상의 보정 방법들은 프로젝터의 휴대성이나 경제성에 큰 제약을 줄 수 있다. 따라서 본 논문에서는 저가의 소형 디지털 카메라를 사용하여 벽면과 같은 임의의 영사면의 기하학적 형태에 의해 발생할 수 있는 영사 영상의 기하학적 왜곡을 효과적으로 보정하여 휴대형 프로젝터의 활용도를 한층 높일 수 있는 실용적인 방법을 제안하고자 한다.

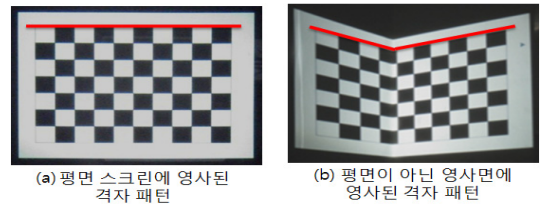
본 논문은 서론에 이어, 2장에서는 격자패턴을 이용하여 영사면의 기하학적 정보를 추출하는 방법과 영사된 격자패턴과 원본 격자패턴으로부터 직선의 방정식을 도출하여 보정패턴을 생성하는 방법을 기술한다. 그리고 3장에서는 제안한 방법의 성능평가를 위한 실험 결과를 제시하며, 마지막 4장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 본 론

본 장에서는 영사면에 적응적인 영상의 기하학적 보정을 위하여, 영사면의 기하학적 형태에 의해 왜곡되는 격자 패턴으로부터 영사면의 기하학적 정보를 추출하는 방법과 추출한 기하학적 정보를 이용하여 평면이 아닌 영사면에 영사된 영상의 왜곡을 보정하는 방법을 제시한다.

2.1 영사면의 기하학적 정보

휴대형 프로젝터를 사용하는 환경에서는 최적



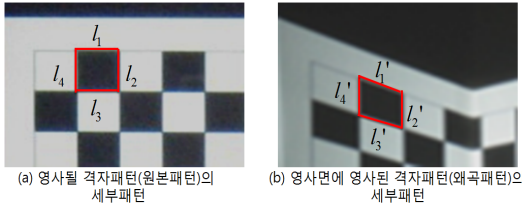
(그림 1) 영사면에서 나타나는 기하학적 왜곡

의 영상을 표현할 수 있는 평면 스크린(이하 스크린)이 준비된 경우가 많지 않기 때문에, 벽면과 같은 곳에 영사된 영상에서는 그 면의 기하학적 형태에 따라 휨이나 찌그러짐 등의 왜곡이 발생하게 된다[5-6]. 이러한 영사면의 기하학적 형태로부터 발생하는 영상의 왜곡 정도는 (그림 1)의 (a)와 같이 스크린에 영사된 격자패턴 영상과 (b)와 같이 평면이 아닌 영사면(이하 영사면)에 영사된 격자패턴 영상을 비교하여 알 수 있다. (그림 1)의 (a)에서는 영사된 격자패턴에 기하학적 왜곡이 발생하지 않기 때문에 패턴 상단의 교차점을 따라 기울기가 0 인 직선(붉은색 직선)을 그릴 수 있다. 반면, (그림 1)의 (b)에서는 (a)와 동일한 방법으로 패턴의 교차점들을 연결하였을 때 영사면의 기하학적 형태(즉인 평면)에 따라 기울기가 서로 다른 두 개의 직선들(붉은색 직선들)이 그려짐을 알 수 있다. 이는 왜곡이 없는 스크린의 직선을 기준으로 영사면에서 나타나는 직선들의 기울기를 비교하였을 때 영사면의 기하학적 특성을 직선의 기울기로 나타낼 수 있으며, 그 기울기가 곧 프로젝터로 영사된 영상의 왜곡 정도를 나타낼 수 있다. 따라서 원본 격자패턴(이하 원본패턴)과 영사면에 영사되어 영사면의 기하학적 형태에 따라 왜곡된 격자패턴(이하 왜곡패턴)과의 관계를 이용하여 왜곡의 정도를 수식(1)과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{cases} \vec{l}_n \cdot \vec{l}_n' = |\vec{l}_n| |\vec{l}_n'| \cos(\theta_{Dn}) \\ \theta_{Dn} = \cos^{-1}((\vec{l}_n \cdot \vec{l}_n') / (|\vec{l}_n| |\vec{l}_n'|))^{-1} \end{cases} \quad (1)$$

여기에서 l_n 은 (그림 2)에서와 같이 원본패턴을 구

성하는 각각의 직사각형 패턴의 한 변의 벡터를 나타내며, l_n' 은 l_n 에 대응되는 왜곡된 직사각형 패턴의 동일 변에 대한 벡터를 나타낸다. 그리고 \ominus_{Dn} 은 두 변이 이루는 각으로 영사면의 기하학 형태에 의해 발생하는 영상의 왜곡 정도를 나타낸다.



(그림 2) 기하학적 형태에 대한 영상의 왜곡 정도

2.2 기하학적 왜곡 보정 원리

먼저, 평면이 아닌 영사면에 원본패턴을 영사한 후 영사면의 기하학적 형태에 따라 왜곡된 왜곡패턴을 디지털 카메라로 촬영한다. 다음으로 촬영된 왜곡패턴 내에서 직사각형을 이루는 교차점들을 추출하고 추출한 교차점들로 생성한 직선들에 대한 왜곡 정도를 계산함으로써 영사면의 기하학적 정보를 추출할 수 있다. 추출된 영사면의 기하학적 정보를 기반으로 영상의 기하학적 왜곡을 보정하기 위해서는 왜곡패턴으로부터 산출한 왜곡 정도와는 절대값이 같고 방향이 반대인 보정 격자패턴(이하 보정패턴)을 생성해야 한다.

왜곡패턴에 대응되는 보정패턴은 (그림 3)과 같은 방법으로 생성할 수 있다[7]. 먼저 카메라로부터 획득한 왜곡패턴과 원본패턴 영상을 그림 (a)와 같이 데카르트 좌표에 사상하여 원점을 일치시킨 후, 왜곡패턴에 임의의 깊이 a 를 할당하여 동일 평면상의 두 패턴을 그림 (b)와 같이 공간 좌표로 분리한다. 다음으로 분리한 두 패턴의 대칭점들로부터 생성된 각각의 직선들에 대한 직선의 방정식을 도출한 후, 왜곡패턴에 할당한 임의의 깊이 값과는 절대값이 같고 방향이 반대인 깊이 값 $-a$ 를 대입하여 왜곡패턴에 대한 보정패턴의 좌표를 산출한다. 결과적으로 원본패턴의 어떤 직선

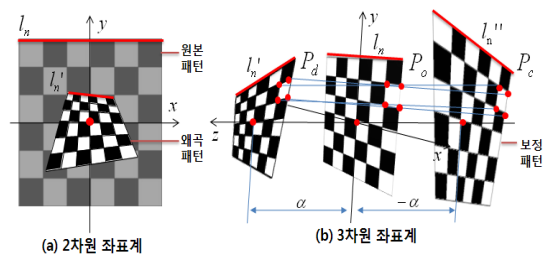
의 양 끝점으로 생성한 벡터와 이에 대응되는 왜곡패턴과 보정패턴에 대한 각 벡터의 왜곡 정도는 다음의 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} \theta_{Dn1} = \cos^{-1}((\vec{l}_n \cdot \vec{l}_n') / (|\vec{l}_n| |\vec{l}_n'|))^{-1} \\ \theta_{Dn2} = \cos^{-1}((\vec{l}_n \cdot \vec{l}_n'') / (|\vec{l}_n| |\vec{l}_n''|))^{-1} \end{cases} \quad (2)$$

패턴을 구성하는 각 직선들에 대한 벡터의 왜곡 정도를 수식(2)와 같이 나타내었을 때, 벡터 l_n 을 기준으로 벡터 l_n' 과 l_n'' 의 왜곡 정도가 다음의 수식(3)의 관계를 만족하면, 영사면의 기하학적 왜곡을 보정할 수 있는 보정패턴을 생성할 수 있다.

$$\cos(\theta_{Dn1}) = \cos(\theta_{Dn2}), (\theta_{Dn1} = -\theta_{Dn2}) \quad (3)$$

수식(2)와 수식(3)에서 l_n 은 원본패턴을 구성하는 직사각형 패턴에 대한 한 변의 벡터를 나타내며, l_n' 과 l_n'' 은 각각 l_n 에 대응되는 왜곡패턴과 보정패턴의 동일 변에 대한 벡터를 나타낸다. 그리고 \ominus_{Dn1} 과 \ominus_{Dn2} 는 원본패턴을 기준으로 왜곡패턴과 보정패턴에 대한 각 벡터의 왜곡 정도를 나타낸다.



(그림 3) 왜곡 패턴의 기하학 보정 방법

2.3 직선 방정식을 이용한 기하학적 왜곡 보정

본 절에서는 프로젝터로부터 영사된 영상을 촬영하여 보정패턴의 실 좌표를 도출하는 방법과 영사면의 실제 기하학적 정보를 적절하게 적용할

수 있도록 원본패턴의 크기를 결정하여 보정패턴을 재 산출하는 방법을 제시한다.

2.3.1 직선방정식의 도출 및 보정패턴의 좌표 생성

프로젝트로부터 영사된 영상의 기하학적 왜곡을 보정할 수 있는 보정패턴의 생성 방법을 2절에서 설명하였다. 이를 기반으로 실제 보정패턴의 좌표를 도출하기 위해서는 원본패턴과 촬영된 왜곡패턴의 좌표를 이용하여 각 패턴의 교차점에 대응되는 직선의 방정식을 도출하여야 한다. 공간 좌표계에서 각 패턴의 교차점에 대응되는 직선을 구하는 방법은 (그림 3)을 기반으로 다음과 같이 정의된다.

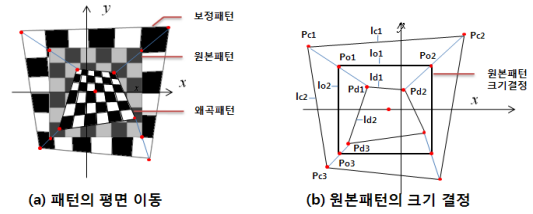
$$\frac{(P_c x - P_o x)}{(P_d x - P_o x)} = \frac{(P_c y - P_o y)}{(P_d y - P_o y)} = \frac{P_c z}{P_d z} \quad (4)$$

여기서, P_o 와 P_d 는 원본패턴과 왜곡패턴의 교차점에 대한 좌표를 나타내며, P_c 는 산출할 보정패턴의 교차점에 대한 좌표를 나타낸다. 수식 (4)에서 보정패턴과 왜곡패턴의 각 z축 좌표에 방향이 반대인 임의의 값 a 와 $-a$ 를 대입함으로써, 다음의 수식 (5)에 나타난 바와 같이 보정패턴의 x축과 y축에 대한 좌표를 원본패턴과 왜곡패턴의 좌표 값으로 결정할 수 있다[7].

$$\begin{cases} (P_o z = 0, P_d z = a, P_c z = -a,) \\ P_c x = 2P_o x - P_d x, P_c y = 2P_o y - P_d y \end{cases} \quad (5)$$

2.3.2 기하학적 정보를 위한 원본패턴의 크기 결정

영상에서 발생하는 왜곡을 보정하기 위하여, 촬영한 왜곡패턴을 원본패턴을 기준으로 대칭시킴으로써 보정패턴에 대한 실질 좌표를 구하였다. 그러나 보정패턴의 좌표를 산출하는 과정에서는 보정패턴의 좌표를 결정하는 원본패턴의 크기를 고려하지 않아, 보정패턴의 각 변과 이에 대응되는 왜곡패턴의 각 변이 수식(3)의 역관계에서 벗어나 영사면의 기하학적 정보에 적합하지 않은 보정패턴이 생성될 수 있다. 따라서 영사면의 기



(그림 4) 원본패턴의 크기 결정

하학적 정보에 적합한 보정패턴을 생성하기 위하여, 원본패턴의 크기를 (그림 4)를 기반으로 수식 (6)에서부터 수식(10)까지의 과정을 통하여 결정한다.

먼저 수식 (4)의 결과에서 임의의 값이 값을 제거하여 왜곡, 원본 및 보정패턴을 원점을 기준으로 (그림 4)의 (a)에 보인 바와 같이 동일 평면으로 다시 이동시킨다. 그리고 원본패턴의 네 모서리 정점들은 x축과 y축에 대칭관계에 놓여있으므로 P_{o2} 의 좌표를 P_{o1} 의 좌표로 치환하여 다음의 수식(6)과 같이 나타낸다.

$$P_{o2} x = -P_{o1} x, P_{o2} y = -P_{o1} y \quad (6)$$

따라서 (그림 4)의 (b)에서 보정패턴 상단의 P_{c1} 과 P_{c2} 를 식 (7)과 같이 원본패턴 및 왜곡패턴의 좌표로 정리할 수 있다.

$$\begin{cases} P_{c1} x = 2P_{o1} x - P_{d1} x, P_{c1} y = 2P_{o1} y - P_{d1} y \\ P_{c2} x = -2P_{o1} x - P_{d2} x, P_{c2} y = 2P_{o1} y - P_{d2} y \end{cases} \quad (7)$$

이때, P_{c1} 과 P_{c2} 로 구성된 벡터 l_{c1} 의 기울기와 P_{d1} 과 P_{d2} 로 구성된 벡터 l_{d1} 의 기울기는 절대량이 같고, 방향이 반대인 역관계에 있어야 함으로 다음의 수식 (8)을 성립해야만 한다.

$$\vec{l}_{d1} \cdot \vec{l}_{o1} = \vec{l}_{c1} \cdot \vec{l}_{o1} \quad (8)$$

수식(8)에서 l_o 와 l_d 는 각각 원본 및 왜곡패턴의 직선에 대한 벡터를 나타내며, l_c 는 보정패턴의 직선에 대한 벡터를 나타낸다. 원본, 왜곡 및 보정패

턴의 좌표를 이용하여 각 패턴의 직선들에 대한 벡터를 생성하고, 이에 수식(8)을 적용하면 최종적으로 수식 (9)와 같이 원본패턴의 x축 좌표를 결정할 수 있다.

$$P_{o1}x = (P_{d1}x - P_{d2}x) / 2 \quad (9)$$

마찬가지로 원본패턴의 y축 좌표는 수식(6)에서 수식(8)까지의 과정에 x축 대칭관계에 있는 P_{o1} 과 P_{o3} 의 좌표를 대입하고, 원본패턴의 l_{o2} 를 기준으로 역관계를 성립해야하는 직선 l_{d2} 와 l_{c2} 를 대입함으로써 수식 (10)과 같이 결정할 수 있다.

$$P_{o1}y = (P_{d1}y - P_{d3}x) / 2 \quad (10)$$

결과적으로 원본패턴의 한 모서리에 대한 좌표를 도출함으로써 나머지 정점들은 이에 대한 대칭관계로 원본패턴의 크기를 산출할 수 있다.

이와 같은 과정에 의해 영사면의 기하학적 정보를 적절하게 적용할 수 있는 원본패턴의 크기를 결정하였으며, 이를 수식 (4)와 수식 (5)의 과정에 대입하여 재 수행함으로써 영사면의 기하학적 왜곡을 보정할 수 있는 보정패턴을 생성할 수 있다. 최종적으로 영상의 기하학적 왜곡 보정은 프로젝터로부터 영사될 입력 영상을 원본패턴과 동일한 격자 구조로 분할한 후, 생성된 보정패턴과 같은 형태로 미리 워핑[8]하여 수행할 수 있다.

3. 실험결과

제안한 영사면의 기하학적 왜곡 보정 기술을 검증하기 위하여, 영상 프로젝터로서 DenQ MP770을 사용하였고 영상을 획득하기 위한 디지털 카메라는 삼성 SDC-425를 사용하였다. 그리고 왜곡된 영상으로부터 보정영상을 생성하기 위하여 Win 32 API와 OpenCV를 기반으로 한 컴퓨터 프로그램을 구현하였다[9-10]. 또한, 제안한 방법으로 기하학적 왜곡에 대하여 도출한 결과의 오차를 측정하기 위해, 원본패턴과 영사한 보정패턴의

형태를 나타내는 윤곽에지(contour edge)를 대상으로 벡터를 생성한 후, 대응되는 두 패턴의 벡터들에 대한 사이각을 비교하여 그 오차범위를 측정하였다. 오차의 측정 기준은 수식 (11)과 같이 나타낼 수 있으며, 오차의 측정 수치가 0에 가까울수록 기하학적 왜곡에 대한 최적의 보정결과를 나타낸다.

$$E_{Result} = [1 - \sum_{n=0}^k (l_{On} \cdot l_{Rn}) / k] \times 100 \quad (11)$$

수식(11)에서 l_{On} 과 l_{Rn} 은 원본패턴과 영사된 보정패턴의 윤곽에지 벡터를 나타내고, E_{Result} 는 원본패턴과 사용자가 관찰하는 영사된 보정패턴 간의 평균 오차량을 나타낸다.

3.1 기울어진 평면의 기하왜곡 보정 실험

(그림 5)는 기울어진 기하학적 형태를 가지는 영사면에 대하여, 제안한 방법으로 기하학적 보정을 수행하는 과정을 보여준다. 먼저 (a)는 영사면의 기하학적 정보에 대한 도출이 용이하도록 격자패턴의 교차점들만으로 생성한 원본패턴을 나타내며, (b)는 영사할 원본영상을 나타낸다. 기울어진 형태를 가지는 영사면에 원본패턴 및 원본영상을 영사하여 촬영한 영상인 (c)와 (d)에서는 영사면에 의해 장방형의 원본패턴과 원본영상이 사다리꼴의 형태로 변형되는 기하학적 왜곡이 발생함을 볼 수 있다. 이를 보정하기 위하여 원본패턴과 왜곡패턴으로부터 각각에 대응되는 패턴의 교차점들로 직선의 방정식을 도출하고, 원본패턴의 크기를 결정하는 과정을 수행하여 (e)와 같은 보정패턴을 생성하였다. 그리고 보정영상 (f)는 (b)의 원본영상을 격자패턴에 대응되게 분할하여 (e)에 워핑하여 생성한 영상을 보여준다. 최종적으로 생성된 보정영상 (f)를 기울어진 기하학적 형태를 가지는 영사면에 영사하였을 때 (h)와 같이 기울어진 왜곡이 없는 평면 스크린에 영사한 영상과 매우 유사한 보정 결과가 나타났다. 보정

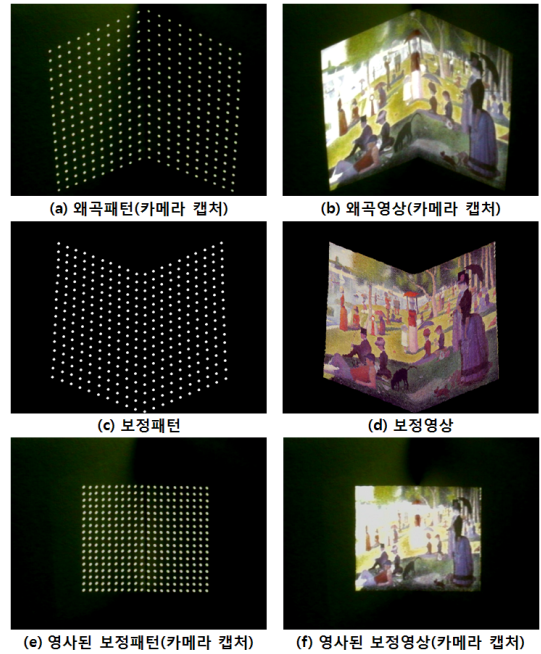


(그림 5) 기울어진 평면의 기하보정 실험

(표 1) 기울어진 평면의 기하보정 오차 측정(5회)

검사 윤곽에지(Contour Edge) 수x회		69(개)*5회
왜곡 보정에 대한 오차 측정	최소오차	0.0
	최대오차	0.020
	평균오차율(E_{Result})	0.36 (%)

결과의 오차를 측정하기 위하여 (a)와 (g)의 윤곽에지들로 벡터를 생성하고, 이에 수식(11)을 적용한 결과를 표 1에 나타내었다. 서로 다른 기울어진 평면에 대해 총 5회에 걸쳐 윤곽에지를 추출하여 측정한 결과에서는 동일한 기울기를 갖는 벡터가 존재하기 때문에 최소오차가 0.0으로 나타났



(그림 6) 꺾인 평면의 기하보정 실험

고, 벡터의 기울기 오차가 가장 클 때는 0.020으로써 약 0.35°의 기울기 차이가 나타났다. 또한, 평균적으로 두 윤곽에지 사이에서는 약 0.36%의 낮은 오차를 나타내었다. 본 실험결과로부터 제안한 방법이 기울어진 형태를 가지는 영사면의 기하학적 왜곡을 효과적으로 보정할 수 있음을 알 수 있다.

3.2 꺾인 평면의 기하왜곡 보정 실험

제안한 방법으로 꺾인 평면의 기하학적 형태를 가지는 영사면에 대한 실험 과정을 (그림 6)에 나타내었다. 원본패턴 및 영상은 이전 실험과 동일하며, 이를 영사면에 영사하였을 때 (a)와 (b)같이 영상에서 다각형 형태의 기하왜곡이 발생하는 것을 볼 수 있다. 카메라로 촬영한 왜곡패턴과 왜곡 영상으로부터 제안한 방법으로 (c)와 같은 보정패턴을 생성하였고, 원본영상을 이에 워핑하여 (d)와 같은 보정영상을 생성하였다. 그리고 이를 영사면에 재 영사하였을 때 (e)나 (f)와 같이 꺾인 평면의 기하학적 형태를 가지는 영사면의 기하학적

(표 2) 꺾인 평면의 기하보정 오차 측정(5회)

검사 윤곽에지(Contour Edge) 수x회		69(개)x5회
왜곡 보정에 대한 오차 측정	최소오차	0.0
	최대오차	0.027
	평균오차율(E_{Result})	0.25(%)

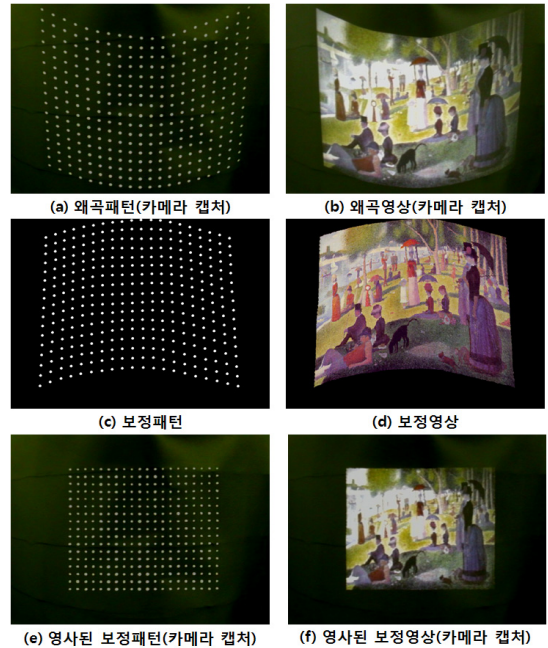
왜곡이 보정되는 결과를 볼 수 있다. 보정한 결과에 대해 오차를 측정하기 위하여 원본패턴과 영사된 보정패턴에서 윤곽에지 벡터를 추출하였고, 이에 수식(11)을 적용한 결과를 표 2에 나타내었다. 원본패턴과 영사된 보정패턴 간의 대응되는 윤곽에지 벡터들은 동일한 기울기를 가질 때 0.0의 수치를 나타내었으며, 대응되는 윤곽에지 벡터간에 기울기의 오차가 가장 높을 때는 약 0.027의 수치로 두 벡터의 기울기에서 약 0.434°의 차이가 나타났다. 또한, 전체 5회의 실험에서 평균 0.25%의 매우 낮은 오차율을 나타냄으로써, 제안한 방법이 꺾인 평면의 기하학적 형태를 가진 영사면에 대해서도 매우 효과적인 보정을 수행함을 알 수 있다.

3.3 곡면의 기하왜곡 보정 실험

(그림 7)에는 곡면의 기하학적 형태를 가지는 영사면에 대한 실험 과정을 나타내며, 원본패턴 및 원본영상은 이전 실험들과 동일하게 사용하였다. 원본패턴과 원본영상을 곡면의 기하학적 형태를 가지는 영사면에 영사하였을 때에는 곡면의 구조를 따라서 (a)와 (b) 같이 패턴과 영상에서 곡선이 발생하는 것을 볼 수 있다. 곡선을 본 방법에 적용하기 위해 곡선을 구성하는 패턴의 교차점들을 직선으로 근사화한 후 제안한 방법을 적용하여 (c)와 같은 보정패턴을 생성하였다. 그리고 생성된 보정패턴에 분할한 원본영상을 위핑하여 (d)와 같은 보정영상을 생성하였다. 생성한 보정패턴과 보정영상을 영사면에 재 투사하였을 시에 (e)와 (f)와 같이 곡면의 기하학적 형태를 가지는 영사면의 기하왜곡을 보정할 수 있었으며, 타 실험과 마찬가지로 총 5회의 실험 결과에 대한 오

(표 3) 곡면의 기하보정 오차 측정(5회)

검사 윤곽에지(Contour Edge) 수x회		69(개)x5회
왜곡 보정에 대한 오차 측정	최소오차	0.0
	최대오차	0.029
	평균오차율(E_{Result})	2.63(%)



(그림 7) 곡면의 기하보정 실험

차를 산출하여 표 3에 나타내었다. 오차 측정 결과에서는 원본패턴의 윤곽에지와 영사한 보정패턴의 윤곽에지가 동일한 기울기를 가질 때 0.0의 최소오차가 나타났고, 오차가 최대일 때는 약 0.029로써 두 벡터간의 기울기는 약 0.380° 정도 차이가 났다. 평균 기울기 오차는 2.63%로 이전 실험들에 비해 약간 높은 오차율이 나타났는데, 이는 곡면에 의해 발생한 곡선을 패턴의 교차점들로 생성한 직선으로 근사화하여 보정패턴의 좌표를 산출하였기 때문이다. 그러나 보정결과를 확인하였을 때에는 다른 실험들과 마찬가지로 평면 스크린에 영사한 영상과 매우 흡사함을 확인할 수 있다.

또한, 모든 실험과정에서 사용자의 시점 위치 및 시점 방향이 카메라의 위치 및 방향과 유사해질

때, 영상의 보정 효과가 커짐을 확인할 수 있었다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 방법으로는 평면 스크린을 사용할 수 없는 휴대형 프로젝터 환경에서 다양한 기하학적 형태를 가지는 영사면(혹은 벽면)에 영상을 영사할 때, 마치 평면 스크린을 사용하는 것과 같은 영상을 생성하여 사용자에게 제공할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 평면 스크린을 사용할 수 없는 휴대형 프로젝터의 영사환경에서, 평면이 아닌 영사면(혹은 벽면)의 기하학적 형태에 의해 발생하는 영상의 기하학적 왜곡을 보정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법으로는 영사면에 영사된 왜곡패턴과 원본패턴의 교차점을 이용하여 영사면의 기하정보를 나타내는 직선의 방정식을 도출하였고, 도출한 직선의 방정식들로부터 영사면의 역관계에 있는 보정좌표를 산출함으로써, 영사면으로부터 발생하는 영상의 기하왜곡을 보정할 수 있었다. 또한 기하학적 정보가 가장 뚜렷하게 나타나는 영상의 윤곽정보를 기준으로 원본패턴과 영사된 보정패턴을 비교하였을 때, 두 패턴의 형태가 평균적으로 3%이내의 오차범위를 가질 만큼 매우 유사함을 보여주어, 제안하는 방법이 영상의 기하왜곡을 보정하는 데에 있어 매우 효과적임을 보였다. 따라서 제안한 방법은 협소한 장소나 평면 스크린이 설치되기 어려운 장소에서 휴대성을 동반한 프로젝터의 활용성을 극대화 시켜줄 것으로 기대된다. 추후 임의의 영사면에서 나타날 수 있는 색상 왜곡을 보정하는 방법에 대한 연구도 함께 진행하여 휴대형 프로젝터의 화질 향상 및 활용성을 보다 높일 수 있는 방안을 제시할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Joo Kisee, "The Slit Beam Laser Calibration Method Based On Triangulation," KIMICS, Jan, pp.168-173, 1999.
- [2] Zhengyou Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," Proc of ICCV, pp. 666-673, 1999.
- [3] Michael S.Brown and William K.H.Wong, "Laser pointer interaction for camera-registered multi-projector displays," IEEE Image Processing, pp.913-916, 2003.
- [4] Park, H., Lee, M.-H., Kim, S.-J., Park, J.-I., "Surface-independent direct-projected augmented reality," Proc. of ACCV, pp.892-901, 2006.
- [5] 주기세, "삼각법기반 구조화된 격자 패턴 캘리브레이션", 한국해양정보통신학회논문지, 제9권 제5호, pp.1074-1079, 2004.
- [6] 유원필, 정연구, "저가형 디지털 카메라 적용을 위한 기하학적 왜곡 및 광도 왜곡 보정 방법", 한국정보과학회 학술발표논문집, 제30권 제1호, pp.205-207, 2003.
- [7] J. Jung and J. Cho, "Screen adaptive geometric image calibration method for handheld video projector," Proc. of ICCE2010, pp.505-506, Jan. 2010.
- [8] David H.Eberly, "Physically based rendering from theory to implementation," MORGAN KAUFMANN, 2004.
- [9] 이상엽, Windows programing bible, 영진.com, 2000.
- [10] 정성환, 이문호, 컴퓨터비전 실무 프로그래밍, 홍릉출판사, 2007.

● 저 자 소 개 ●



정 정 일

2009년 경원대학교 전자거래학과 졸업(학사)
2009년~현재 경원대학교 일반대학원 전자계산학과(석사)
관심분야 : 영상처리, 3D 그래픽스, 컴퓨터비전, 비디오 코덱 etc.
E-mail : jungjin2623@nate.com



조 진 수

1994년 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 Columbia University 전자공학과(공학석사)
2003년 Georgia Institute of Technology 전자공학과(공학박사)
2001년~2002년 EG Technology Inc. Software Engineer
2004년~2006년 삼성전자 책임연구원
2006년~현재 경원대학교 컴퓨터공학과 조교수
관심분야 : 영상처리, 신호처리, 3D 그래픽스, 멀티미디어
E-mail : jscho@kyungwon.ac.kr