

변형 가능한 곡면에서의 디지털 영상 투영을 위한 실시간 기하 보정 시스템

Real-time Geometric Correction System for Digital Image Projection onto Deformable Surface

이영보, Youngbo Lee*, 한상현, Sanghun Han**, 김정훈, Junghoon Kim**,
이동훈, Donghoon Lee***, 윤태수, Taesoo Yun***

요약 ~ 본 논문에서는 변형 가능한 곡면에 가상의 텍스처를 투영하기 위한 프로젝터 기반의 실시간 기하 보정 시스템을 제안한다. 다수의 대응점들의 위치를 추적하기 위하여 사용되는 마커들은 프로젝터의 영상이 투영되더라도 그 흔적이 남아있어서 투영 영상을 훼손한다. 또한 출력 영상의 사전 기하 보정 과정에서 병목 현상이 발생하기 때문에 실시간 기하 보정 시스템의 구현이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 마커 인식 과정에서 마커에 의해 투영 영상이 훼손되는 현상을 막기 위해 눈에 보이지 않는 적외선 마커를 사용하며, NVIDIA의 Cg ToolKit을 이용하여 고속의 GPU 연산을 수행함으로써 자연스러운 실시간 보정 영상의 출력이 가능하다. 본 논문의 실험 결과에서는 눈에 보이지 않는 마커가 그려진 종이 위에서 사용자와의 상호 작용이 가능한 디지털 영상을 투영한다. 이를 통해 증강 현실 기반의 다양한 디지털 콘텐츠 제작이 가능하다.

Abstract ~ This paper proposes a real-time geometric correction system based on a projector to project digital images onto deformable surface. Markers use to trace lots of corresponding points would spoil the projected image when the projector projects a digital image onto the surface because they leave marks on the surface. In addition, it is difficult to build a real-time geometric correction system since bottlenecks occur through the process of the geometric correction for projecting images. In this paper, we use invisible infrared markers and a vertex shader of GPU using Cg TookKit of NVIDIA in order to eliminate disadvantage and bottlenecks in the process of markers recognition so that it is possible to project natural correction images in real-time. As a result, this system overlays an interactive virtual texture onto the real paper by using the geometric transformation. Therefore, it is possible to develop variation of AR(Augmented Reality) based on digital contents systems.

핵심어: *Spatial Augmented Reality, Projector-Camera System, Real-Time Geometric Correction, Nonlinear Geometric Transform, Invisible Marker.*

1. 서론

컴퓨터 기술의 발전과 함께 프로젝터의 보편화로 인하여 프로젝터를 이용한 공간 증강 현실 관련 기술들에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[1-4]. 그 중 프로젝션 기반의 실시간 자동 기하 보정 기술은 투자방향이 정확하지 않으면 영

상 왜곡이 발생하는 프로젝터의 한계를 극복한 기술로서 다양한 연구들이 진행되고 있다[5-8].

프로젝션 기반의 기하 보정 기술의 초기의 연구들은 투사방향이 변화될 때 마다 복잡한 선행 작업을 필요로 하기 때문에, 실시간 기하 보정에 적합하지 않은 문제점을 가지고

본 논문은 2007년 산학협동재단 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*주저자 : 동서대학교 디자인&IT 전문대학원 영상콘텐츠학과 학생 e-mail: golyb@hanmail.net

**공동저자 : 동서대학교 디자인&IT 전문대학원 영상콘텐츠학과 학생 e-mail: alpha815@gmail.com

동서대학교 디자인&IT 전문대학원 소프트웨어학과 학생 e-mail: melc81@gmail.com

***교신저자 : 동서대학교 디자인&IT 전문대학원 디지털콘텐츠학부 교수; e-mail: dhl@dongseo.ac.kr

동서대학교 디자인&IT 전문대학원 디지털콘텐츠학부 교수; e-mail: tsyun@dongseo.ac.kr

있었다[5-6]. 이러한 문제는 프로젝터와 카메라의 광축을 근접하게 일치시켜서 선행 작업을 줄일 수 있는 프로젝터-카메라 시스템이 제안됨으로서 스크린의 움직임에 따라 자동으로 기하 보정을 수행하는 것이 가능하게 되었다[7-8]. 하지만, 비교적 간단한 자동 키스톤 보정 기술에 비해 좀 더 계산량이 많은 곡면 스크린에 대한 기하 보정 시스템은 여전히 스크린의 움직임이나 굴곡 변환에 대하여 실시간에서 자동으로 보정하기가 어렵다.

증강 현실 기반의 변형 가능한 면에 가상의 텍스처를 입히는 기존 연구들은 대부분 HMD 기반의 시스템이나 광고나 전시와 같은 목적을 위한 일반 디스플레이 기반 시스템에 적용하기 위한 것이었다[9-10]. 이러한 시스템에서 사용되어진 마커들은 프로젝터 기반의 기하 보정 시스템에서 사용하였을 경우 프로젝터의 영상이 투영되더라도 마커의 흔적이 그대로 남아있게 되므로 물체의 텍스처의 모양을 훼손하게 된다. 이와 반대로, 프로젝터에 의해 투영된 영상에 의하여 카메라를 통한 마커의 인식이 어려워지는 문제가 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 눈에 보이지 않는 적외선 마커를 사용하여 사용자의 눈에 마커가 보이지 않게 하며, 적외선 카메라를 사용하여 프로젝터에 의해 투영되는 영상으로부터 영향을 받지 않도록 하였다. 또한, 실시간의 디지털 영상의 적용을 위하여 병목현상을 줄일 수 있는 방법으로서 GPU를 이용하여 보다 자연스러운 영상 출력이 가능하다.

2. 변형 가능한 곡면에서의 실시간 기하 보정 시스템

변형 가능한 곡면에서의 실시간 기하 보정 시스템은 그림 1과 같은 구성으로 되어 있다. 제안된 시스템은 크게 하드웨어 모듈과 소프트웨어 모듈로 구분한다.

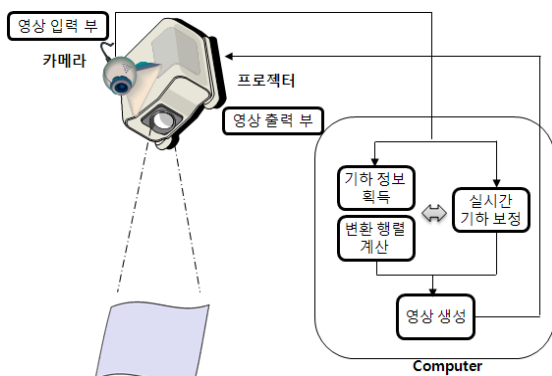


그림 1. 시스템 구성

그림 1에서와 같이 시스템의 하드웨어 모듈은 영상 입력부와 영상 출력부로 구분하며, 소프트웨어 모듈은 카메라의 입력 영상에서 마커를 추적하는 영상 처리 모듈과 기하 변

환 행렬을 계산하여 영상을 보정을 하기 위한 기하 보정 단계로 구분한다. 카메라의 입력 영상으로부터 계산된 기하 변환 행렬을 이용하여 기하 보정 단계에서 보정된 영상은 영상 출력부에서 변형 가능한 곡면에 투영된다.

2.1 영상 처리 단계

변형 가능한 곡면의 기하 변환 행렬을 계산하기 위해서는 곡면과 영상간의 다수의 대상점들과 대응점들의 위치를 파악해야 한다. 그러나 기존의 연구에서 사용된 마커들은 프로젝터에 의해 투영되어지는 텍스처의 그림을 훼손하며, 투영되어지는 영상과 마커의 영상이 겹쳐져서 마커를 인식하는 단계에서 다시 어려움이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 눈에 보이지 않는 적외선 마커를 사용한다.

2.1.1 Coded-Ring 마커 시스템



그림 2. Coded-Ring 마커

기하 보정에 필요한 변환 행렬을 계산하기 위해서는 대응점에 해당되는 마커의 위치를 정확하게 추적하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 각각의 대응점들에 해당하는 마커들을 추적하기 위한 방법으로서 Coded-Ring 마커 시스템을 이용한다[10]. Coded-Ring 시스템에서 이용되는 마커들은 그림 2와 같이 마커의 가운데에 위치한 검정색 원과, 검정색 원을 둘러싸고 있는 중간색 흰색 원, 그리고 마커의 외곽을 둘러싸고 있는 외곽 원(outer-ring)으로 구성되어 있다.

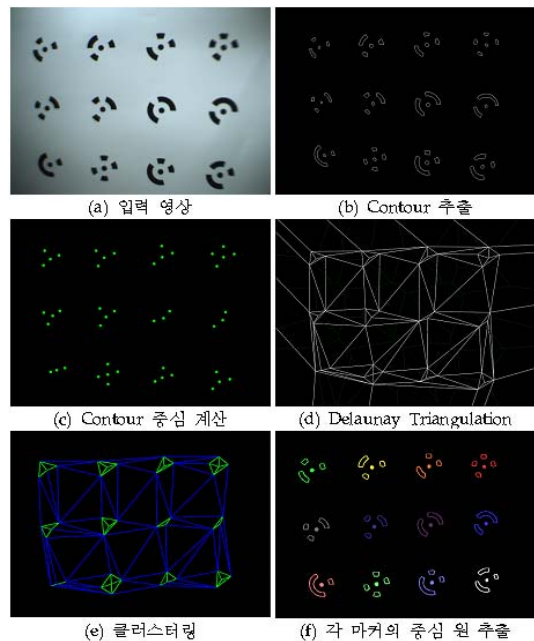


그림 3. Coded-Ring 마커의 추적 과정

그림 3은 본 논문에서 사용된 Coded-Ring 마커의 추적 과정을 보여준다. Coded-Ring 마커들을 추적하기 위해서는 먼저 영상에 대한 적절한 임계값 조절을 통하여 이진 영상을 만들어야 한다. 이진 영상의 생성 이후, 추적 물체의 배경으로 부터 추출된 윤곽(Contour)들의 중심 좌표를 계산하고, 들로니 삼각화 알고리즘(Delaunay Triangulation)을 적용하여 클러스터링(Clustering)을 수행한다.

들로니 삼각화 과정 이후 생성된 에지(edge) 정보들을 길이 순서대로 정렬하고, 정렬된 에지들을 순차적으로 탐색한다. 초기의 클러스터들은 이진 단계에서 추출된 각각의 윤곽들의 좌표 값으로 이루어져 있다. 클러스터링 과정에서 처리 중인 에지에 연결된 두 클러스터들은 병합(Merging)과정을 반복하면서 마커에 모양을 완성해 나간다. 에지의 탐색 과정은 기존에 탐색된 에지의 길이와 비교하여 일정 수준 이상의 길이 차이를 보이면 탐색 과정을 중단 한다.

2.1.2 마커의 위상 정렬

본 시스템에서는 4개의 종류의 Coded-Ring 마커들을 이용하여 물체를 추적한다. 이들 마커들은 아래 그림 5와 같은 형태로 정렬되어 있다.



그림 4. Coded-Ring 마커의 배열

그림 4의 좌, 우측 영상과 같은 마커들의 배열로부터 물체의 위치 정보를 파악하기 위하여 5개의 외곽 링을 가진 마커와 4개의 외곽 링을 가진 마커를 먼저 찾아야 한다. 5개의 외곽 링을 가진 마커와 4개의 외곽 링을 가진 마커는 각각 1개씩만 존재하며 마커 배열에서 중앙에 위치한다. 5개와 4개의 외곽 링을 가진 마커의 추적을 시작으로 하여 3개의 외곽 링을 가진 마커를 찾는다. 3개의 외곽 링을 가진 마커는 2개이며, 하나는 5개의 외곽 링을 가진 마커와 인접하며, 다른 하나는 4개의 외곽 링을 가진 마커와 인접하고 있다. 이러한 특징을 이용하면 3개의 외곽 링을 가진 마커의 위치를 구할 수 있으며, 지금까지 찾아낸 마커들의 위치 관계로부터 나머지 2개의 외곽 링을 가진 마커들의 위치 정렬이 가능하다.

2.1.3 적외선 마커의 추적

본 논문에서는 눈에 보이지 않는 적외선 잉크를 사용한다. 실험에서 사용되는 마커는 IR1PenSm 적외선 펜을 이용하여 제작한다. 적외선 잉크는 가시광선 영역대의 빛을 관찰할 수 있는 카메라나 사람의 눈으로는 관측할 수 없다. 적외선 잉크를 찾아내는 방법은 크게 두 가지로서, 793nm 이하

의 적외선 영역의 빛을 흡수하는 성질을 이용한 방법과, 840nm의 형광 빛을 발산하는 성질을 이용하는 방법이 있다. 이중 빛을 흡수하는 성질을 이용하는 방법은 비교적 간단한 방법으로서 기존의 연구에서도 사용되어진 방법이다 [11]. 하지만 이 방법은 추출된 마커 영상에서 프로젝터에 의해 투영된 빛의 간섭을 받을 확률이 매우 높다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 적외선 잉크의 형광 반응을 이용한다.

적외선 잉크의 형광 반응을 보기 위한 방법은 두 가지로서, 첫 번째는 눈에 보이는 가시 영역대의 빛을 강하게 비추는 것이고, 두 번째는 눈에 보이지 않는 적외선 레이저를 투사하여 빛을 발하게 유도하는 것이다[12]. 본 논문에서 제안하는 시스템은 적외선 레이저를 이용한다. 하지만, 실제 실험에서는 적외선 레이저 장비를 구하기 어렵기 때문에 외부 프로젝터를 이용하여 흰색의 빛을 강하게 쬐는 방법을 이용하였다. 이러한 방법을 통하여 잉크가 형광 반응을 일으키면 830nm 이하의 가시광선을 차단하는 필터를 이용하여 프로젝터의 빛을 모두 제거할 수 있으며, 그림 5와 같이 적외선 잉크로 그려진 마커의 영상만을 얻을 수 있다.

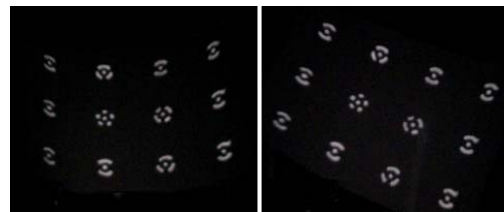


그림 5. 형광 반응을 이용한 적외선 마커의 추적

2.2 기하 보정 단계

프로젝터-카메라 시스템에서 출력될 영상에 대하여 사전 기하 보정을 수행하기 위해서는 프로젝트-카메라 시스템에서 투영될 대상인 스크린과 카메라, 그리고 프로젝트 영상과 카메라 간의 기하 관계를 계산한다. 본 논문에서는 변형 가능한 곡면의 기하 보정을 위하여 카메라와 스크린간의 관계를 2차(quadratic), 3차(cubic) 기하 변환 행렬을 이용하여 계산한다.

2.2.1 프로젝트-카메라 시스템의 기하 관계

본 논문에서 제안된 시스템에서의 프로젝트와 카메라, 스크린과 카메라는 그림 6과 같이 행렬들 간의 관계식으로 표현할 수 있다.

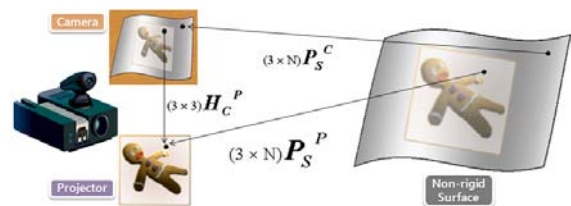


그림 6. 프로젝트-카메라 시스템의 기하관계

출력될 영상에 대하여 사전 기하 보정을 수행하기 위해서는 프로젝터와 스크린간의 기하 관계인 $(3 \times N)P_S^P$ 를 구한다. $(3 \times N)P_S^P$ 를 계산하기 위한 관계식은 식 2.1과 같다.

$$(3 \times N)P_S^P = (3 \times 3)H_C^P \times (3 \times N)P_S^C \quad (2.1)$$

스크린과 프로젝터 간의 기하 관계인 $(3 \times N)P_S^P$ 를 계산하기 위해서는 먼저 카메라와 프로젝터간의 기하 변환 관계인 $(3 \times 3)H_C^P$ 와 스크린과 카메라간의 기하 관계인 $(3 \times N)P_S^C$ 를 먼저 계산한다. 이때 $(3 \times 3)H_C^P$ 는 3×3 크기의 호모그래피 행렬이며, $(3 \times N)P_S^C$ 는 3×5 크기의 2차 기하 변환, 혹은 3×7 크기의 3차 기하 변환을 나타내는 비선형 기하 변환 행렬이다. $(3 \times N)P_S^C$ 행렬은 영상 처리 단계에서의 마커들의 위치와 프로젝터에 의해 출력될 영상의 대응 좌표들로서 계산이 가능하다.

2.2.2 비선형 기하 변환의 계산

2차 기하 변환 혹은 그 이상의 고차 기하 변환을 계산할 때 일반적으로 자주 이용되는 다항식 변환(Polynomial Transformation)은 기하 변환의 수식 적인 모형을 구하는 다양한 연구에 사용되고 있으며, 변환 영상의 모든 변위가 동시에 수정된다는 장점이 있다.

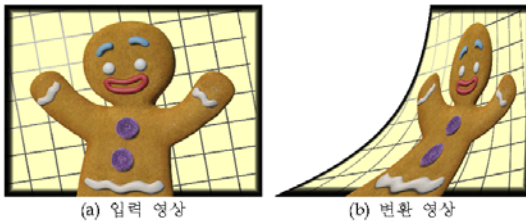


그림 7. 2차 기하 변환

본 논문에서는 기존의 다항식 변환 수식을 그대로 이용하지 않고 비선형 기하변환의 하나로서 Emori의 Quadratic Geometric Transformation을 사용한다[9]. 이 변환식의 기본 방정식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} x' &= \sum_i^N \sum_j^M a_{ij} x^i y^j \\ y' &= \sum_i^N \sum_j^M b_{ij} x^i y^j \end{aligned} \quad (2.2)$$

위의 식 2.2는 다음의 관계식으로 표현할 수 있다.

$$X' = PX \quad (2.3)$$

식 2.3에서 X 와 X' 는 각각 변형하기 전과 변형된 후의 곡면에 위치한 점들의 집합이며, 행렬 P 는 두 곡면간의 변환 관계를 나타내는 3×5 크기의 행렬이다. 식 2.3의 관계식의 행렬은 다음과 같이 구성되어있다.

$$X' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ w \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x^2 \\ y^2 \\ x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & 1 \end{pmatrix}$$

이들 변환 관계에서 각각의 대응점들에 대한 매개변수들의 값들을 미리 알고 있으므로, 매개변수들을 전개하여 최소 자승법을 이용하여 계산하면 두 곡면 사이의 변환 행렬 P 를 구할 수 있다.

$$X' = CX \quad (2.5)$$

$$X' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ w \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x^3 \\ y^3 \\ x^2 \\ y^2 \\ x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} & c_{17} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} & c_{27} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} & 1 \end{pmatrix}$$

수식 2.5와 식 2.6은 3차 기하 변환을 계산하기 위하여 기존의 Quadratic Geometric Transformation을 변형한 것이다. 3차 기하 변환 행렬 C 는 3×7 의 크기를 가지며, Quadratic Geometric Transformation과 마찬가지로 최소 자승법을 이용하여 구한다,

2.2.3 실시간 기하 보정을 위한 GPU 연산

일반적으로 CPU에서 영상을 기하 변환할 때 사용하는 역방향 변환(Backward Mapping)은 출력 영상에 대한 모든 화소들에 대해 기하 변환 연산을 수행하게 되므로 영상 변환 과정에서 병목현상이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 병목 현상을 줄이기 위해서 GPU를 이용하여 기하 보정 연산을 수행하게 된다.

최근의 GPU에서는 3D 응용 프로그램들에서 GPU의 성능을 최대한으로 활용할 수 있도록 하기 위해서 셰이더(Shader)라는 개념을 도입하였다. 정점 셰이더를 이용하면 GPU에서 3차원 좌표계의 정점에 대하여 프로그래밍이 가능한 변환 효과를 직접 구현하는 것이 가능하다. 정점 셰이더를 이용하여 영상의 기하 변환을 처리하기 위해서는 CPU의 2차원 영상의 배열 구조를 3차원 공간상의 텍스처 매핑(Texture Mapping)이 되어 있는 아주 작은 셀(Cell)들로 이루어진 메시(Mesh) 구조로 변환하여 계산한다.

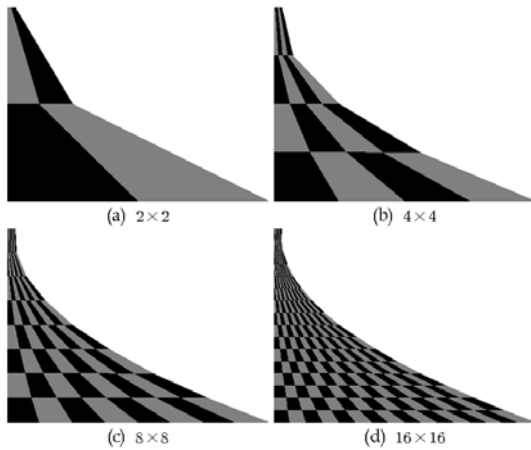


그림 8. 셀의 개수에 따른 메시 구조의 비선형 변환에 대한 적용 결과

그림 8는 3차원 좌표상의 메시를 이루고 있는 셀의 개수에 따른 기하 변환 결과를 보여준다. 그림 8의 (a)와 같은 4개의 셀로 이루어진 메시에서는 메시를 이루고 있는 셀의 크기가 커서 각 셀의 모서리와 이웃한 셀의 모서리 사이의 단절된 부분의 각이 뚜렷하게 표시된다. 하지만 셀의 개수가 점점 많아질수록 (d)와 같이 이웃한 셀들이 이루는 모습이 점점 곡면에 모습에 가까워짐을 알 수 있다. 본 논문에서 정점 셰이더를 이용한 기하 변환을 구현하기 위하여 사용되어진 실제 영상의 크기는 512×512 이며 3차원 공간에서 텍스처 매핑을 통하여 생성된 메시는 단위 셀의 가로와 세로가 각각 2픽셀의 크기로서 전체 256×256 의 셀의 개수를 가진다.

CPU에서 역방향 변환을 이용하여 영상 보정 시, 식 2.1을 역 방향으로 계산하여야 한다. 하지만, 정점 셰이더를 이용한 기하 변환은 순방향 변환을 이용하므로 식 2.1의 관계식의 변환 과정 없이 그대로 사용할 수 있다. 3차원 공간상의 메시 구조에 대하여 순방향 변환을 수행할 경우 텍스처 매핑을 기반으로 하기 때문에 영상의 확대나 왜곡 변환 시 보간에 대하여 고려하지 않아도 된다.

3. 실험 및 결과

실험에서 사용된 카메라는 I NOVIA의 PC 카메라이다. PC 카메라는 IR 형광 빛을 감지하기 위하여 렌즈에 장착된 IR 차단 필터를 제거하였다. 디지털 영상의 투영을 위하여 사용된 프로젝터의 기종은 EIKI LC-X986DM 프로젝터이다. 적외선 마커로 제작하기 위해 IR1PenSm 적외선 잉크 펜을 사용하였다. 적외선 잉크의 형광 반응을 일으키는 Source Light를 출력하기 위한 외부 프로젝터로 (주) DONGWON의 DLP-380 LCD 프로젝터를 사용하였으며, 적외선 카메라에서 마커를 인식하기 위하여 Heliopan의 Infrarot 830 필터를 이용하였다.

본 논문의 소프트웨어 시스템은 Pentium IV 3.00 GHz Processor에 탑재된 Visual C++ 6.0 및 OpenCV Library와 NVIDIA의 Cg ToolKit을 이용하여 구현하였다.



그림 9. 실시간 카메라 영상에서의 기하 변환 실험

시스템 구현 시 각각의 모듈에 따라 별도로 개발을 진행하고 단계적으로 통합과정을 거쳤다. 그림 9는 카메라의 영상에서 Coded-Ring 마커를 인식하여 실시간으로 텍스처 매핑한 모습이다.

본 실험에서 사용된 카메라는 PointGrey의 Flea 1394 카메라를 이용하였다. 카메라에서 입력되는 영상은 1024×768 이며, 초당 30프레임의 영상을 입력받을 수 있다. 기하 변환에 사용된 영상의 크기는 카메라 영상의 크기와 동일한 1024×768 크기이다. 실험 결과 GPU를 이용하여 영상을 보정하면 초당 20 프레임 정도로서 영상에 대한 기하 보정 과정을 생략하고 마커만 추적하였을 경우와 거의 비슷한 성능을 보였다. 하지만 일반 CPU에서 역방향 변환을 이용하여 영상의 기하 변환을 수행하였을 경우 초당 0.8 프레임 정도의 영상을 처리함으로써 CPU에서 영상의 기하 변환을 수행하면 상당한 성능 저하가 발생하는 것을 알 수 있었다.



그림 10. 프로젝터-카메라 시스템

그림 10은 프로젝터와 카메라를 이용하여 프로젝터-카메라 시스템을 구현한 실험환경이다. 사진에서 독서대 위에 놓여있는 종이에 눈에는 보이지 않는 적외선 마커가 그려져 있다. 적외선 잉크의 주성분은 알코올로 이루어져 있으며, 잉크가 번지는 것을 막기 위하여 일반 A4용지가 아닌 사진 인화용 용지를 사용하였다. 그림 11과 그림 12는 프로젝터-카메라 시스템에서 눈에 보이지 않는 적외선 마커를 이용하여 실험한 결과 영상이다.

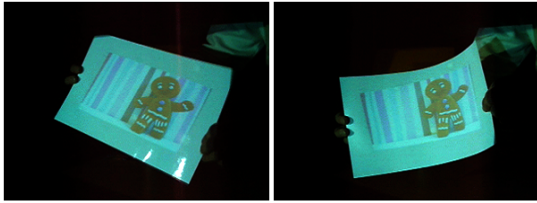


그림 11. 프로젝터-카메라 시스템에서 한 장의 이미지를 이용한 실시간 기하 보정 실험

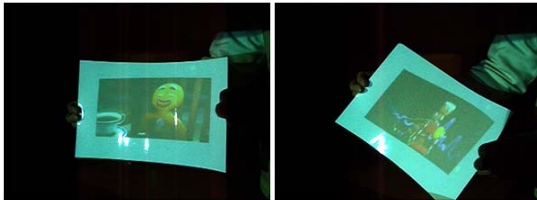


그림 12. 프로젝터-카메라 시스템에서 동영상을 이용한 실시간 기하 보정 실험

그림 11은 한 장의 영상에 대하여 기하 보정을 실험한 것이며, 그림 12는 실시간에서 동영상을 이용하여 기하 보정을 한 것이다. 실험 결과 동영상의 경우 최대 초당 66프레임까지 출력이 가능하였다. 하지만, 눈에 보이지 않는 적외선 마커를 찾기 위하여 사용된 웹캠의 성능이 초당 6~7 프레임 정도로 떨어져서 출력되는 동영상이 움직이는 곡면을 빨리 따라가지 못하였으며, Coded-Ring 마커의 인식률 또한 현저히 줄어들었다. 이러한 장비 자체의 성능 문제는 고성능의 적외선 카메라로 교체하는 것으로 해결이 가능하다. 소프트웨어 모듈에서 기하정보 획득 및 변환 모듈과 실시간 기하 보정 모듈을 병렬 구조로 설계함으로써 카메라의 성능에 의존하지 않고 실시간에서 연속적인 영상의 자연스러운 출력이 가능하였다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 공간 증강 현실 시스템의 하나로서 변형 가능한 면에서의 디지털 영상을 투영하기 위한 실시간 기하 보정 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템에서는 보이지 않는 적외선 마커를 이용하여 마커에 의해서 투영 영상이 훼손되는 문제를 해결하였다. 또한, 영상 보정 단계에서의 병목 현상을 방지하기 위하여 NVIDIA의 Cg ToolKit을 사용하여 실시간의 영역에서 자연스러운 기하 보정 영상 출력으로 기존의 시스템들 보다 연산 속도를 개선하였다. 본 시스템은 변형 가능한 곡면의 대상으로 보이지 않는 마커가 그려진 종이를 사용하고 사용자와의 상호 작용이 가능한 디지털 영상을 투영할 수 있다. 하지만 적외선 마커 자체 인식률이 조금 불안정하며 적외선 마커의 형광 반응을 위한 외부 프로젝터의 강한 빛으로 인하여 디지털 영상이 투영된 곡면을 장시간 바라볼 때 눈의 피로를 가중시키게 된다. 따라서 향

후 연구에서는 보이지 않는 적외선 레이저를 사용하여 눈부심 현상을 제거하고, 마커 인식 알고리즘을 개선하여 안정적인 실시간 대화형 시스템을 개발 할 계획이다.

참고문헌

- [1] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality", Presence, Vol. 6, No. 4, pp.355-385, 1997.
- [2] R. Raskar, G. Welch, K. L. Low, D. Bandyopadhyay, "Shader Lamps: Animating real objects with image-based illumination" In Proceedings of Eurographics Workshop on Rendering, 2001.
- [3] J. A. Robinson, C. Robertson, "The LivePapersystem: augmenting paper on an enhanced tabletop" In Proceedings of IEEE Computer & Graphics, 2001.
- [4] S. Hirooka, H. Saito, "Virtual Display System Using Video Projector onto Real Object Surface" In Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2004), pp.305-310, Dec. 2004.
- [5] R. Raskar, J. Baar, P. Beardsley, T. Willwacher, S. Rao, C. Forlines, "iLamps: Geometrically aware and self-configuring projectors" In Proceedings of SIGGRAPH, Vol. 22, pp. 809-818, 2003.
- [6] C. Pinhanez, "The Everywhere Displays Projector: A Device to Create Ubiquitous Graphical Interfaces", In Proceedings of Ubiquitous Computing 2001 (UbiComp'01), September 2001.
- [7] R. Sukthankar, R. Stockton, and M. Mullin, "Smarter Presentations: Exploiting Homography in Camera-Projector Systems," In Proceedings of International Conference on Computer Vision, 2001.
- [8] S. Borkowski, O. Riff, J. L. Crowley, "Projecting Rectified Images in an Augmented Environment", In Proceedings of the ICCV Workshop on Projector-Camera Systems, IEEE Computer Society Press, 2003.
- [9] M. Emori, H. Saito, "Texture overlay onto deformable surface using geometric transformation" In Proceedings of the ICAT, pages 58-65, 2003.
- [10] D. Bradley, G. Roth, P. Bose, "Augmented Reality on Cloth with Realistic Illumination" In Proceedings of Machine Vision and Applications, September 2007.
- [11] Hanhoon Park and Jong-Il Park, "Invisible marker tracking for AR", ISMAR, 00:272-273, 2004.
- [12] <http://www.maxmax.com/>