

불규칙 표면에 대한 멀티터치 디스플레이를 이용한 탠저블 인터페이스 개발[†]

(Development of a Tangible Interface
using Multi-touch Display on an Irregular Surface)

이 동 훈*, 강 맹 관**, 윤 태 수***

(Dong Hoon Lee, Maeng Kwan Kang, and Tae Soo Yun)

요 약 멀티터치 디스플레이 시스템은 참여자가 별도의 부가장치 없이 다양한 인터랙티브 미디어에 손쉽게 접근할 수 있는 기술로 최근 큰 각광을 받고 있다. 특히 마이크로소프트사의 서피스(Microsoft Surface)와 같이 벽면형 디스플레이 이외에 원형의 디스플레이 상에서의 멀티터치 기술이 상용화됨에 따라 보다 다양한 형태의 탠저블 인터페이스로서의 가능성을 보였다. 본 논문에서는 이를 확장하여 구형이 아닌 볼록형(Convex) 불규칙 표면을 대상으로 영상을 디스플레이 하고 디스플레이된 콘텐츠와 참여자의 상호작용이 가능한 멀티터치 인터랙션 시스템을 제안한다. 이러한 제안 방법은 각종 탠저블 인터페이스, 예를 들어 디오라마 기반의 전시 시스템이나 체감형 아케이드 게임에서 효율적으로 사용될 수 있다.

핵심주제어 : 공간 증강현실, 멀티 터치 디스플레이, 인터랙티브 시스템

Abstract Multi-touch display system has recently attracted world wide attention due to easy accessibility to the various interactive media without any specialized equipments. Especially, Microsoft Sphere[®] shows a considerable promise in treating non-flat multi-touch display. The distinctive feature of the system is a stable multi-touch interaction on a spherical display. To extend the possibility of the interactions to the more various display surfaces, this paper propose a multi-touch interaction system in the circumstance of the irregular convex surface. The proposed method can be used efficiently in various tangible interface, for example, the interactive diorama system at the exhibition or the tangible arcade game.

Key Words : Spatial Augmented Reality Multi-touch Display Interactive System

1. 서 론

멀티터치 디스플레이 기술은 기존의 단일터치 디스플레이 기술과 달리 화면을 통하여 시각화되는 정보

를 다양한 메타포를 활용하여 미디어와 직관적으로 상호작용할 수 있는 기술로 휴대폰으로부터 다수 참여자가 동시에 접근할 수 있는 대형 전시 시스템에 이르기까지 폭넓게 활용되고 있다. 특히 최근 마이크로소프트 스피어[1](Microsoft Sphere)와 같이 벽면형 디스플레이 이외에 원형의 디스플레이 상에서의 멀티터치(Multi-Touch) 기술이 상용화됨에 따라 다양한 몰입형 디스플레이 상에서의 상호작용 기법으로서의

[†] 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신 인력양성사업 및 지식경제부의 지역혁신센터의 연구결과임.

* 동서대학교 디지털콘텐츠학부, 제1저자

** 동서대학교 일반대학원 영상콘텐츠, 제2저자

*** 동서대학교 디지털콘텐츠학부, 제3저자

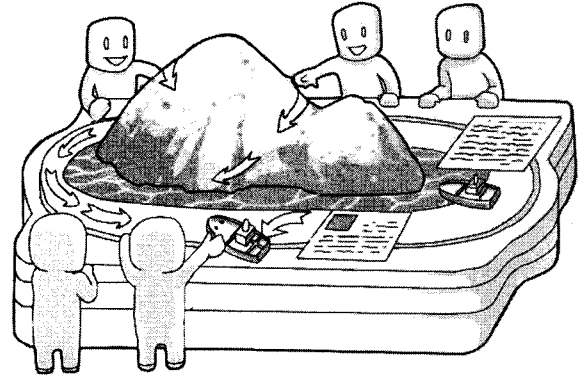
가능성이 높아졌다. 이러한 면은 텐저블 인터페이스(Tangible Interface)의 관점에서 살펴볼 때 다양한 실세계 상의 구조물을 디스플레이 공간으로 간주하고, 실세계 사물에 증강된 정보와 사용자 간의 직관적인 상호작용이 가능하다는 매우 높은 잠재력을 지닌다.

이와 같은 개념은 일반적으로 공간 증강현실(Spatial Augmented Reality)[2][3]이라 불린다. 전통적인 증강현실 기술의 경우 실세계 환경에 가상의 물체를 혼합하여 다양한 디지털 정보를 현실의 상황에 제공하거나 현실 공간에 디지털 정보의 가시화를 통하여 새로운 형태의 미디어 공간을 창출하고 있다.[4] 이 경우 일반적으로 카메라를 활용하여 디스플레이 상에서 가상과 현실을 혼합하는데 비해 공간 증강현실의 경우 현실 공간에 가상의 정보를 직접 투사함으로써 증강현실을 표현하는 특징이 있다. 본 기술은 단일 사용자의 단일 시점에 대해 증강된 정보가 가시화되는 전통적인 증강현실 기술과 달리 프로젝터를 사용하여 디스플레이 표면에 직접 정보를 투사함으로써 다수의 사용자의 서로 다른 시점에 대해 동시에 독립적인 시야를 제공한다. 따라서 마이크로소프트사의 스피어의 경우 실세계 환경의 구조물 중 가장 단순한 형태 중 하나인 구형 물체에 대한 정보 시각화 및 인터랙션이 가능한 기기로 해석 가능하다.

본 논문에서는 마이크로소프트 스피어의 원형 디스플레이를 확장하여 구형이 아닌 블록형 불규칙 표면을 대상으로 영상을 디스플레이하고 디스플레이 된 콘텐츠와 참여자 간의 상호작용이 가능한 멀티터치 인터랙션 시스템을 제안한다. 멀티터치 방식은 적외선 LED 활용 방식 중 DI 방식을 채택하였고, 불규칙 표면에 대한 영상 보정을 위한 프로젝터 기하 보정(Projector Calibration)과 3차원 공간상의 표면에 대한 멀티터치의 접촉면 좌표 계산을 위해 전통적인 카메라 보정(Camera Calibration) 기법을 활용한다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 시스템의 전체 개념도이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제2장에서는 멀티터치 인터페이스 및 공간 투사형 증강현실 관련 기존의 선행 연구들에 대해서 기술한다. 제3장에서는 본 논문에서 제안하는 전체 시스템 구조에 대해 기술하고, 4장에서 본 시스템 개발을 위한 방법론을 제안한다. 또한 제5장에서는 제안한 기법의 결과와 실험한

경에 대해 기술하고 마지막으로 논문의 결론 및 향후 과제에 대해 논한다.



<그림 1> 불규칙표면 멀티터치 디스플레이 개념도.

2. 관련 연구

프로젝터를 활용한 적외선 방식 멀티터치 인터페이스 관련 연구는 오랜 시간 방대한 연구가 수행되었다. 대표적인 방식으로는 FTIR(Frustrated Total Internal Reflection) 방식과 DI(Diffused Illumination) 방식이 존재한다. FTIR 방식은 1960년대 이래로 지문 추출을 위하여 생물 측정학 커뮤니티에서 주로 사용하였으며, 로봇 센서 기술에 이용되어 온 전반사 장애 현상으로 Jafferson Y. Han에 의해 개량된 방식[5]이 다양한 응용 분야에서 널리 활용되고 있다. 일반적으로 투명 아크릴의 윗면과 아랫면에 적외선 LED를 일정 간격으로 나열하여 설치한 후 아크릴 내부에 적외선을 투영시킨다. 이러한 스크린에 손가락이나 물체를 올리게 되면 적외선 빛은 이곳에서 전반사 장애가 일어나 빛이 확산된다. 이 전반사 장애로 인해 새어 나오는 빛을 대역 통과 필터(band pass filter)를 부착한 적외선 카메라를 사용하여 빛의 위치를 획득 할 수 있다. 이에 반해 DI 방식은 스크린의 외부에서 적외선 LED를 고르게 방출하여 접촉 지점의 반사를 적외선 카메라로 포착하는 방식으로 센싱 방식의 처리는 FTIR 방식과 유사하다고 볼 수 있다. 본 기술은 현재는 비교적 안정화된 기술로 상용화되어 전기관 등을 중심으로 다양한 제품이 선보이고 있다.

프로젝터를 이용하여 사물에 영상을 투사하여 다양

한 효과를 연출하는 방식은 학계보다 엔터테인먼트 산업에서 먼저 선보인 것으로 알려져 있다[6]. 월트 디즈니 월드의 "Haunted Mansion"의 노래하는 머리(singing heads)와 가상의 점술가 "Madame Leotark"가 대표적인 예이다. 노래하는 머리의 경우 기술적으로는 단순하지만 4장의 노래하는 사람의 사진을 순차적으로 투사하여 새로운 시각 효과를 표현하였고, Madame Leotark의 경우 프로젝터와 광섬유를 활용하여 실제 크리스탈 볼 내부에서 애니메이션되는 가상 캐릭터를 만들었다. 최근 개발된 시스템은 애니메트로닉(animatronics) Buzz Lightyear가 있는데 월트 디즈니 월드의 매직 킹덤에 관객이 들어오면 애니메트로닉 기법을 활용하여 동적인 객체에 대한 프로젝터 투사 기법을 적용하였다. Son et Lumiere는 구조물에 프로젝터를 투사하여 공연 장치의 효과를 구현한 시스템으로 대형의 구조물에 매우 밝은 프로젝터를 투사하여 실제 라이브 퍼포먼스의 시각효과를 극대화하였다. 이러한 개념을 바탕으로 전세계 다양한 박물관에 유사한 시스템이 있다. 위의 열거한 시스템의 경우 시각효과에 초점을 맞추어 기술적으로는 대부분 수작업에 의지하여 프로젝트와 실구조간의 영상정합을 시도하였다.

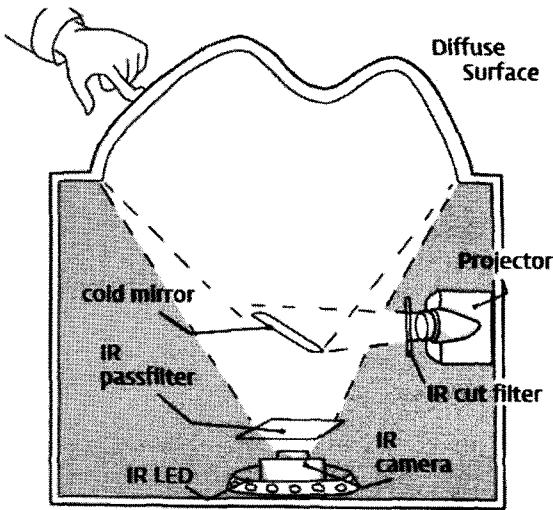
학계의 연구 결과로 Naimark[7]는 집안에 거실의 구조물을 회전이 가능한 카메라로 촬영하고, 그 후 전체 구조물을 흰색으로 칠한 후 프로젝터를 사용하여 미리 찍어놓은 사진을 다시 벽면에 투사하는 개념의 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 공간증강현실의 개념을 최초로 시도한 연구 결과로 그 의의가 높다. Raskar의 Shader lamps[6]는 실제 물체에 텍스처와 조명을 프로젝터를 활용하여 표현하는 시스템으로 텍스처 정보와 스펙클러 반사광, 변화하는 다이내믹 광원 조건 등을 물체의 표면에 표현했다. 이 컨셉은 Dynamic Shader lamps[8]라는 논문에서 확장되는데 사용자의 인터랙션에 의해 물체의 표현을 동적으로 변화시킬 수 있고 참여자가 물체 표면에 그림을 그릴 수 있도록 고안되었다. 이에 대한 응용으로 Lincoln[9]는 얼굴 애니메트로닉스에 대해 shader lamp 기술을 응용하여 원격의 실제 인간의 얼굴 표정을 포착하여 이를 미리 만들어놓은 모델에 적용함으로써 인간친화적인 로봇 기술에 응용하였다.

본 논문에서는 공간증강현실 기술에 멀티터치 기술을 적용하여, 디오라마 등의 불규칙한 실세계 구조물을 디스플레이로 활용한 새로운 형태의 멀티터치 기반 탠저블 인터페이스를 제안한다. 제안하는 방법과 선행 연구와의 차별성으로는 선행 연구에서는 구조물과 참여자 간의 상호작용에 대한 고려가 거의 없으며, 따라서 대부분 프로젝터의 전면투사 방식을 채택하고 있다. 따라서 상호작용을 위한 개념 적용 시 사용자에 의한 가려짐 등의 현상이 필연적으로 발생하여 디스플레이 표면이 제대로 표현되지 못하는 한계를 지니고 있다. 마이크로소프트의 서피스의 경우 사용자 상호작용을 위해 후면 주사 방식을 채택하였으나, 디스플레이 표면이 구형 구조에 국한되어 있다는 한계를 지니고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 인터랙션을 위한 선행 연구의 방식 중에서 DI방식을 적용하여 사용자가 디스플레이와 상호작용을 가능하도록 하였으며, 곡면으로 구성된 표면의 좌표 정보를 측정하여 곡면의 해당 좌표에 따라 알맞은 영상보정을 통한 투영을 하며, 단순한 구 형태의 디스플레이가 아닌 다양한 형태의 곡면에 디스플레이가 가능하도록 하였다.

3. 전체 시스템 구조

제안하는 시스템의 구성은 그림 2와 같다. 본 시스템은 후면영상 투사가 가능한 불규칙 표면의 구조물(일반적인 디오라마), 적외선 발생장치를 이용한 적외선 LED 배열판, 적외선 투과 필터 장치를 장착한 적외선 카메라, 영상 투사를 위한 프로젝터 장치로 구성된다. 먼저 기본적인 디스플레이 영상환경은 후면투사(Rear Projection)환경으로 가정한다. 전면 투사(Front Projection)의 경우 실세계에 존재하는 구조물의 외부에서 구조물 표면에 직접 영상을 투사하는 방식으로 비교적 쉽게 시스템을 구성할 수 있는 장점은 있으나, 앞에서 언급한대로 표면에 직접 멀티 터치에 의한 인터랙션을 고려할 때 사용자에 의한 가려짐 현상으로 인해 시각화에 현저한 문제를 발생시킨다. 후면투사의 경우 이러한 문제를 해결할 수 있으나, 구조물 자체 내부에서 영상을 투사해야 함으로 실세계의 일반적인 구조물을 대상으로 구현할 수는 없다. 이를 위하여 구

조물은 내부에서의 영상 투사에 대해 외부에서 영상이 형성되어야 하는 재질의 물질로 구성되어야 한다. 적외선 LED 배열판은 사용자의 입력부위의 영상처리를 원활하게 하기 위한 목적으로 구조물 하단부에서 구조물 전체 표면에 고르게 적외선이 미치도록 적외선 빛의 강도 조절 및 LED 수량 및 위치 등이 세심하게 구성된다. 일반적으로 적외선 빛의 강도 조절은 장치에 가변저항장치를 부착하여 실제 설치될 공간의 조명 등의 환경에 적절히 맞출 수 있도록 구성한다. 참여자가 생성된 적외선 표면과 접촉 발생 시 적외선 빛의 반사 정보를 적외선 카메라를 통해 포착함으로써 위치 정보를 획득한다.



<그림 2> 시스템 구성.

4. 불규칙 표면에 대한 멀티터치 디스플레이 시스템

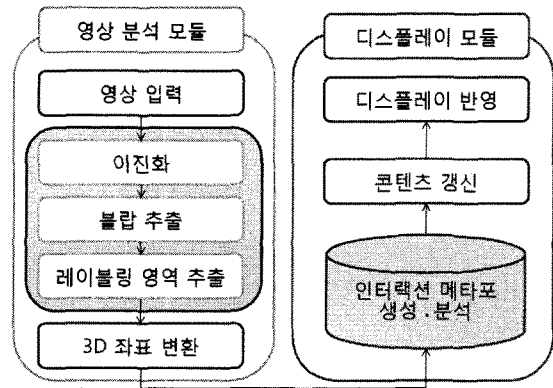
4.1 제안 시스템 흐름도

본 논문에서 제안하는 불규칙 표면에 대한 멀티터치 디스플레이 시스템 전체적인 흐름은 그림 3과 같다.

먼저 적외선 카메라를 이용하여 영상을 획득한다. 카메라의 위치와 프로젝터의 위치의 불일치로 인하여 획득한 영상은 먼저 카메라 보정을 거친다. 카메라의 보정은 디스플레이로 사용하는 구조물을 보정물체(Calibration object)로 가정하고 전통적인 카메라 파라

미터 추출방법[11]을 통해 획득한다. 영상 상에 인터랙션 표면과 참여자 간의 접촉에 의한 영역 검출을 위하여 일반적인 영상처리 과정인 이진화(Threshold) 과정을 거쳐 잡음을 제거한 후 블랍 레이블링(Blob-Labeling) 과정을 통해 영역 후보를 추출한다. 검출된 후보 영역으로부터 평균값을 통한 위치 정보를 추출하고 이 과정에서 트래킹을 통한 잡음 영역 제거를 동시에 수행한다. 이를 기반으로 불규칙 곡면 스크린에 투영되는 영상을 확인하며, 각각의 대칭점에 마우스를 통한 좌표 입력 및 연산을 통한 3D좌표 변환을 한다. 이렇게 영상 분석 모듈에서 계산된 값을 기반으로 디스플레이 모듈에 해당 정보를 보낸다.

그 결과 디스플레이 모듈에서는 사용자의 멀티 터치입력에 따른 인터랙션 메타포의 생성 및 분석을 하게 되며, 해당 인터랙션에 따른 콘텐츠를 갱신하여 디스플레이에 반영을 하게 되어 사용자의 반응에 따른 영상을 출력하게 된다.



<그림 3> 시스템 흐름도.

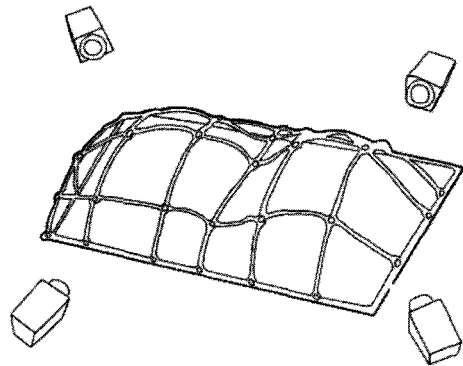
4.2 디스플레이 표면 기하정보 추출

본 시스템을 가동하기 위해서는 먼저 구조물에 대한 정확한 3차원 기하정보 추출의 전처리 단계가 필요하다. 구조물에 대한 정확한 3차원 기하정보 추출은 일반적인 공간중간현실 시스템을 구성하기 위한 기본 절차로 구조물이 지닌 3차원 기하와 동일한 텍스처 처리, 광원 처리 등을 표현하기 위해 필수적이다. 가장 손쉬운 방법으로는 3차원 기하정보 추출을 위한 3D 스캐너 등의 장치를 활용하여 구조물의 기하 정보

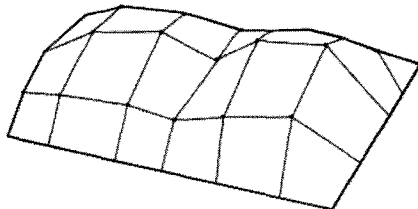
를 추출하는 것이다. 본 연구에서는 실험을 위해 비교적 단순한 구조물을 불규칙 표면으로 활용하였고, 따라서 3D 스캐너 대신 광학식 모션캡처 장치를 활용하여 구조물을 구성하는 주요 정점(vertex)의 3차원 기하정보를 추출하였다. 정점과 정점간을 메쉬(mesh)로 구성하면 간략하게 구조물을 근사화할 수 있다. 그러나 이렇게 구성된 모델은 폴리곤과 폴리곤 상의 부드럽지 못한 면 구성을 초래한다. 본 논문에서는 추출한 정점의 3차원 기하 정보를 활용하여 구성된 근사화 모델을 수작업(3D 그래픽 소프트웨어를 활용)을 통해 최종적으로 보완한다(그림 4참조).

4.3 프로젝터 및 카메라 보정

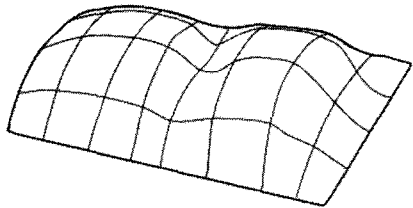
프로젝터와 카메라가 동일한 위상 구조를 가지고 있지 않기 때문에 투영될 영상의 위치 및 방향 정보



(a) 모션캡처를 활용한 주요정점 정보 추출.



(b) 근사화 과정



(c) 최종 모델

<그림 4> 디스플레이 표면 3차원 기하정보 추출 단계

추출을 위해 프로젝터와 구조물 간의 관계를 표현하는 프로젝터 보정이 필요하며 사용자의 접촉에 의해 형성된 접촉점의 위치를 3차원 좌표로 복원할 목적으로 카메라 보정이 별도로 필요하다.

본 연구에서 프로젝터와 카메라의 보정은 알려진 3차원 좌표와 프로젝트 및 카메라에 비친 2차원 좌표 간의 대응관계를 통해 카메라의 내부와 외부 파라미터를 추출하는 전통적인 컴퓨터 비전 알고리즘을 사용한다. 일반적으로 알려진 3차원 좌표는 보정물체(Calibration object)를 활용하나, 본 연구에서는 앞 절에서 기술한 바와 같이 모션 캡처 과정을 통해 추출한 구조물을 보정물체로 간주하여 보정을 수행하였다. 알려진 3차원 좌표와 대응하는 2차원 좌표 간의 카메라 보정 방법은 다음과 같다.

3차원 공간상의 한 점 (X_i^w, Y_i^w, Z_i^w) 이 2차원 영상에 투영된 경우 (x, y) , 두 좌표계 간의 관계는 3×4 투영 행렬 M 에 의해 표현된다.

$$\begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X_i^w \\ Y_i^w \\ Z_i^w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (\text{식 1})$$

이 때 2차원 좌표 x, y 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{u_i}{w_i} = \frac{m_{11}X_i^w + m_{12}Y_i^w + m_{13}Z_i^w + m_{14}}{m_{31}X_i^w + m_{32}Y_i^w + m_{33}Z_i^w + m_{34}} \\ y &= \frac{v_i}{w_i} = \frac{m_{21}X_i^w + m_{22}Y_i^w + m_{23}Z_i^w + m_{24}}{m_{31}X_i^w + m_{32}Y_i^w + m_{33}Z_i^w + m_{34}} \end{aligned} \quad (\text{식 2})$$

행렬 M 은 11개의 자유도를 지니고 있으므로 6개의 3차원과 2차원 좌표 간의 대응 관계만 알면 동차 선형 시스템에 의해 결정될 수 있다. 일반적으로 좌표 측정에서 발생하는 오차 등의 이유로 보다 많은 대응관계를 측정값으로 사용하여 최소자승법(least square method)을 통해 정확한 투영관계를 산출한다. N 개의 3차원과 2차원 좌표의 대응관계를 알고 있다고 가정할 경우 동차선형 시스템은 다음과 같이 구성된다.

$$Am = 0. \quad (\text{식 3})$$

이 때 A와 m은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_1 & X_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_1 X_1 & -x_1 Y_1 & -x_1 Z_1 & -x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -y_1 X_1 & -y_1 Y_1 & -y_1 Z_1 & -y_1 \\ X_2 & X_2 & Z_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_2 X_2 & -x_2 Y_2 & -x_2 Z_2 & -x_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & -y_2 X_2 & -y_2 Y_2 & -y_2 Z_2 & -y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_N & X_N & Z_N & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_N X_N & -x_N Y_N & -x_N Z_N & -x_N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_N & Y_N & Z_N & 1 & -y_N X_N & -y_N Y_N & -y_N Z_N & -y_N \end{bmatrix} \quad (식 4)$$

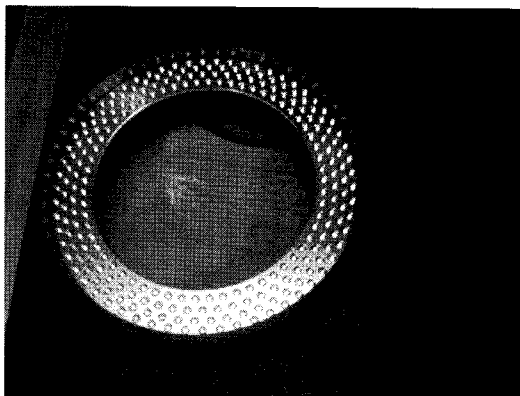
$$m = [m_{11}, m_{12}, \dots, m_{33}, m_{34}]^T. \quad (식 5)$$

이 때 A는 11개의 자유도를 가지므로 특이값분해(SVD, Singular Value Decomposition)를 활용하여 m을 구할 수 있다.

산출된 정보는 3차원 좌표와 2차원 좌표 간의 투영 행렬로서 투영행렬로부터 카메라의 내부 파라미터와 외부 파라미터 추출 기법[10]을 활용하여 카메라 보정에 필요한 파라미터를 산출한다.

5. 구현 및 실험

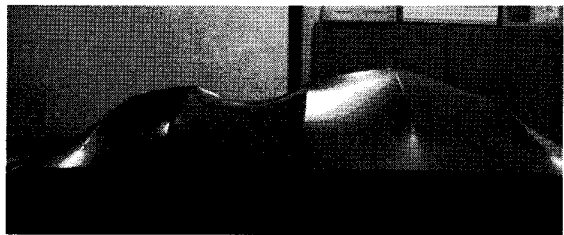
본 논문에서 제안한 시스템은 펜티엄IV 1.8GHz, 2GB램이 설치된 시스템에서 Microsoft Visual C++을 이용하여 구현하였다. 영상처리 모듈은 OpenCV를 사용하였으며, 인터랙티브 영상의 생성 모듈은 공개게임 엔진인 Ogre를 활용했다. 적외선 LED 모듈은 Osram 880nm 적외선 LED를 사용하였고, 적외선 영상만을 입력받기 위한 방법으로 동일 파장대의 적외선 필터를 사용하였다. 이 때 효과적으로 적외선 영역의 영상을



<그림 5> 링 타입의 적외선 LED 구성.

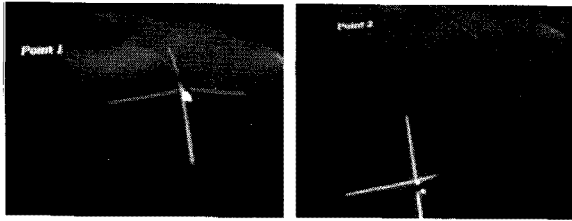
입력 받기 위하여 카메라 CCD 전면부에 부착되어 있는 적외선 차단 필터를 제거하여 실험하였다. 적외선 LED 배열은 원형의 적외선 링 형태로 제작하였으며, 환경의 영향에 대한 적외선 빛의 강도에 대한 조절을 위해 가변 저항 방식의 조절장치를 부착하였다.

불규칙 표면 구성을 위한 구조물은 산 모양의 디오라마를 제작하였다. 디오라마의 전체 크기는 가로 87cm, 세로 57cm, 최대높이 18.2cm의 규모이다. 시스템의 전체적인 알고리즘 검증 차원에서 1차적으로 구성된 구조물은 먼저 철사를 이용하여 구조물의 뼈대를 구성하고, 뼈대 위에 후면 투사를 위한 리어스크린을 표면에 씌우는 방식을 사용하였다. 구조물의 3차원 기하 정보를 추출하기 위해 먼저 제작된 뼈대를 활용하여 구조물의 주요 정점에 대해 모션 캡처를 수행했다.



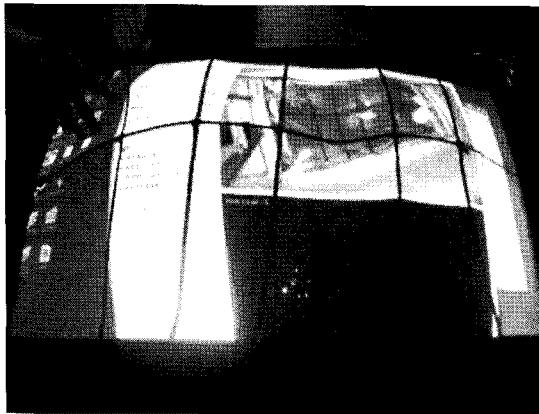
<그림 6> 실험에 사용된 산모양의 디오라마.

프로젝터 보정 절차는 Shader lamp에서 사용한 방법과 동일하게 프로젝터를 통해 십자선(Crosshair)을 구조물(산)에 투사하여, 보정을 위해 미리 지정된 순서의 3차원 지점을 선택하는 방식으로 진행된다(그림 7참조). 프로젝터 보정은 자동화 알고리즘을 사용하지는 않았으나, 통산 보정을 위한 시간이 1 ~ 2분에 걸쳐 진행되므로 실용적으로 사용하기에는 큰 문제가 없다고 판단된다. 카메라 보정 절차 또한 유사하게 카메라 영상에 맺혀진 구조물을 대상으로 미리 지정된 순서의 3차원 지점을 선택하는 방식으로 진행되었다.

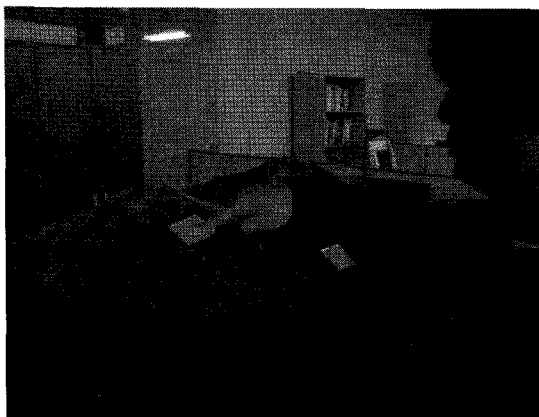


<그림 7> 프로젝터 보정을 위한 좌표 설정.

적외선 LED 배열을 사용한 인터랙션 표면 생성의 관건은 공간에 얼마나 균일하게 적외선을 생성할 수 있는지의 문제이다. 실험결과에 사용한 구조물 영역에 대한 실험 결과 균일한 빛 발산이 가능하였고, 이에 대한 검증은 실험자를 통한 접촉점 인식율을 통해 확인이 가능하였다(그림 8, 9 참조). 1,000회에 걸친 접촉점 테스트 결과 963회 인식의 결과를 보였으며, 이는 상용 시스템으로 사용하기에 큰 무리가 없는 성능으로 판단된다. 성능 오류의 일부는 카메라의 프레임율



<그림 8> 영상처리를 통한 접촉점 추출.



<그림 9> 접촉점 테스트 수행 예.

에 의한 것으로 지나치게 빠른 접촉에 대한 일부 지연 현상이 발생하였다. 현재 사용하는 카메라의 경우 영상처리 처리속도는 25 ~ 30fps의 성능을 보였고, 이는 사용자의 눈에 띄지않고 인터랙션이 자연스럽게 트래킹 됨을 의미한다. 다수 사용자에 대한 실험의 경우 디스플레이 스크린의 사이즈의 제한으로 3인에 대한 실험을 수행하였다. 이 경우에도 25 ~ 30fps으로 동일한 성능을 유지함을 확인할 수 있었다.

6. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 불규칙 표면을 대상으로 영상을 디스플레이하고 디스플레이된 콘텐츠와 참여자의 상호작용이 가능한 멀티터치 인터랙션 시스템을 제안하였다. 불규칙 표면은 상호작용을 고려하여 후면투사 방식을 채택하였으며, 이를 위해 후면투사가 가능한 구조물, 적외선 LED 모듈, 프로젝터와 적외선 카메라로 구성된 시스템을 개발하였다. 실험자를 통한 접촉점 인식 성능, 영상처리 속도 등의 실험 결과 실용적으로 사용하기에 충분한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 이러한 제안 방법은 각종 탠저블 인터페이스, 예를 들어 디오라마 기반의 전시 시스템이나 체감형 아케이드 게임에서 효율적으로 사용될 수 있다.

본 논문에서 제안하는 불규칙 표면은 블록형 구조로 제한된다. 그 이유는 단일 프로젝터를 활용한 투사에 있어 구조물의 일부가 다른 구조물을 가릴 경우 전체 구조물의 표면에 영상이 투영되지 못하는 한계가 발생하기 때문이다. 또한 프로젝터와 스크린 사이의 거리에 의한 구조물의 크기 제한이 존재한다. 현재 개발된 시스템의 경우 내부에 전반사 거울을 활용하여 디스플레이 영역을 최대화하였으나, 보다 대형의 구조물에 적용하기 위해서는 다수의 프로젝터를 활용한 시스템으로의 후속 개발이 필요하다. 이 경우 멀티프로젝터 디스플레이에 필요한 영상 간 동기화 문제, 디스플레이 이음간의 자연스러운 영상 표현을 위한 에지 블렌딩 등의 컬러 보정 작업이 선행되어야 한다.

현재 사용하고 있는 디오라마의 경우 철사 재질을 뼈대로 사용하였기 때문에 영상 투사시 뼈대 형태가 그대로 드러나는 문제가 있다. 현재 뼈대를 활용하지

않고 아크릴 재질의 디오라마를 제작 중에 있다. 구조물에 대한 대체로 이러한 문제는 손쉽게 해결되리라 본다. 또한 본 논문에서는 언급하지 않았으나, 현재 본 시스템을 활용한 게임 콘텐츠를 제작 중에 있다. 실제 구조물을 사용자와의 상호작용 및 디스플레이로 활용한 이러한 개념은 새로운 컨셉의 체감형 게임으로 그 가치가 매우 높다고 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, Ravin Balakrishnam, "Sphere: Multi-Touch interactions on a Spherical Display", UIST'08, California, USA, 2008

[2] Bimber, Oliver, Raskar, Ramesh, Spatial Augmented Reality, AKPetersLtd, 2007

[3] 김정훈, 이영보, 박현우, 윤태수, 이동훈, "반투명 거울 기반 공간 증간 현실 환경의 전시물 안내 시스템", 한국산업정보학회 논문지 13권, 2008. 3

[4] 박기철, 박세근, "가상 현실 갤러리의 현실감 증대에 관한 연구", 한국산업정보학회 논문지 4권, 1999. 12

[5] Jefferson Y. Han, "Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection", UIST'05, 2005, Seattle, Washington, USA, 2005.

[6] R. Rasker et al., "Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination", In Eurographics Workshop on Rendering, June 2001.

[7] M. Naimark. Displacements, An exhibit at the San Francisco Museum of Modern Art, San Francisco, USA, 1984.

[8] D. Bandyopadhyay, R. Raskar, and H. Fuchs, "Dynamic shader lamps: Painting on real objects, "In Proc. of IEEE and ACM international Symposium on Augmented Reality(ISAR'01), New York, USA, 2001.

[9] P. Lincoln et al., "Animatronic Shader Lamps Avatars", IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR'09),

Orlando, USA, 2009.

[10] E. Trucco, A. Verri, Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall, 1998.



이 동 훈 (Dong Hoon Lee)

- 정회원
- 동서대학교 컴퓨터공학과 공학사
- 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학석사
- 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학박사
- 동서대학교 디지털 콘텐츠학부 조교수

• 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 3D Vision, 가상현실, 영상기반 모델링 및 렌더링



강 맹 관 (Maeng Kwan Kang)

- 준회원
- 동서대학교 게임&멀티미디어 공학사
- 동서대학교 일반대학원 영상콘텐츠 석사과정

• 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 3D Vision, 중/가상현실, 멀티터치



윤 태 수 (Tae Soo Yun)

- 정회원
- 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학사
- 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학석사

• 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학박사
 • 동서대학교 디지털 콘텐츠학부 부교수
 • 관심분야 : Machine Vision, 멀티미디어, 게임개발

논문 접수일 : 2011년 03월 28일
 1차수정완료일 : 2011년 04월 26일
 2차수정완료일 : 2011년 05월 06일
 게재확정일 : 2011년 05월 09일