ubiGuide: 비간섭 증강현실 기술을 이용한 지능형 가이드 시스템

ubiGuide: Intelligent Guide System Using Nonintrusive Augmented Reality Techniques

진윤종, Yoonjong Jin, 박한훈, Hanhoon Park, 노성규, Sungkyu Noh, 최희준, Hee-Jun Choi,
박종일, Jong-Il Park
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과, 가상현실 연구실

요약 유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 문화예술 분야에 접목되면서 수동적이었던 전시 관람 형태가 능동적인 관람 형태로 바뀌고 있다. 특히, 지능형 가이드 시스템의 등장은 기존의 관람 문화를 크게 변화시켰다. 지능형 가이드 시스템이란 사용자에게 전시물에 대한 정보 및 전시장의 위치 정보를 제공해주는 시스템을 말한다. 현재 상용화되고 있는 지능형 가이드 시스템은 크게 휴대폰, PDA, 게임기 등의 휴대형 장치 기반의 가이드 시스템과 HMD 와 같은 착용형 장치 기반의 가이드 시스템으로 나뉠 수 있다. 본 논문에서는 이러한 현재 상용화된 시스템들의 한계(예를 들어, 특정 장치를 직접 착용 혹은 소지해야 함)를 서술하고, 이를 보완하는 프로젝터 기반의 가이드 시스템에서 더 나아가 임의의 공간에 원하는 전시물 구성, 설치 등을 신속, 정확하게 수행하는 지능형 가이드 시스템을 제안한다. 프로젝터 기반의 지능형 가이드 시스템은 기반 기술로 지능형 프로젝션 기술을 필요로 하는데, 이는 임의의 환경에서 임의의 위치에 다수의 사용자에게 고화질, 대화면 영상 정보를 제공해 준다. 그러나, 기존의 지능형 프로젝션 기술은 성능 및 안정성을 위해 대부분 가시적인 패턴 및 마커를 사용하는데, 이는 사용자에게 제공되는 정보를 관찰하는 데 방해가 될 수 있다. 본 논문에서는 사용자의 관점에서 유용한 비간섭 지능형 프로젝션 기술을 사용한다. 즉, 본 논문에서는 마커나 패턴을 사용함으로써 정확성이나 안정성은 보장하지만, 마커나 패턴을 은닉하여 사용자의 눈에 띄지 않도록 함으로써, 사용자는 원하는 정보를 아무런 방해 없이 제공받을 수 있다. 제안된 시스템을 미술 작품 감상을 위한 가이드 시스템으로 적용해 본 결과, 사용자는 자유로운 환경에서 자신의 위치나 작품에 대한 설명을 대화면으로 제공받으면서, 편안하게 그림을 감상할 수 있었다.

핵심어: Intelligent guide system, Nonintrusive projection-based augmented reality, IR marker, Complementary pattern

1. 서론

최근 문화예술분야에 유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 접목되어 유용하게 쓰이는 사례가 늘고 있다. 미술관이나 박물관에 쓰이는 휴대형 영상 안내기가 대표적인 예가 될 수 있겠다. 휴대형 영상 안내기와 같은 가이드 시스템의 등장으로 기존의 관람 보조방법인 종이 안내문 또는 가이드 요원에 의한 안내 등 수동적인 관람기능을 탈피해 관람자가 능동적으로 전시물을 관람할 수 있다. 가이드 시스템은 휴대형 장비를 통해 전시품에 대한 설명자료를 볼 수 있을 뿐 아니라 이어폰으로 육성 내레이션을 들을 수 있다. 또 휴대형 장비를 통해 전시관내 자신의 위치를 실시간 확인할 수 있으며 전시관의 동선에 따라 다음 전시물의 위치를 파악할 수 있는 시스템이다.

현재 미술관, 박물관 등의 전시물에 대한 정보를 사용자에게 제공해주는 가이드 시스템은 크게 2가지로 나뉠 수 있다. 첫 번째는 휴대형 장치(handheld device) 기반의 가이드 시스템[1,2,3,4,5]이고 두 번째는 착용형 장치(wearable device) 기반의 가이드 시스템[6]이다. Bruns 등은 휴대형 장치 기반 가이드 시스템으로 휴대폰을 이용한 박물관 가이드 시스템을 제안하였다[1]. 휴대폰의 카메라 기능을 이용하여 물체를 인식한 후 해당 전시물에 대한 정보를 제공해주는 시스템이다. 또한, 블루투스 장비와 연동하여 사용자의 위치를 파악한 후 사용자가 필요로 하는 위치 정보 서비스를 제공해준다. 휴대폰을 이용한다는 점에서 누구나 쉽게 휴대폰만으로 가이드 서비스를 받을 수 있지만 휴대폰 특성상 작은 크기의 화면으로 인하여 사용자가 작품에 몰입하는 데 불편하다. 또한, 공공장소에서 휴대폰을 이용하여 서비스를 받으면 개인 통화에 대한 에티켓 문제가 발생할 수 있어서 공공장소에 쓰이기에는 부적합하다. 한편, MARQ (Mobile Augmented Reality Quest)는 휴대형 장치 기반 가이드 시스템에서 PDA를 이용하여 3차원 증강 현실을 제공하는 휴대

형 가이드 시스템의 좋은 프로토타입으로 대변된다[2]. 전시물 주변에 위치한 마커를 인식하여 해당하는 전시물에 대한 정보를 PDA에 제공해주는 서비스이다. PDA를 기반으로 하는 가이드 시스템은 실제 국립 중앙 박물관, 리움 미술관에서 상용서비스로 사용되고 있다[3,4]. 국립 중앙 박물관의 경우 PDA를 통해서 전시 안내뿐만 아니라 외장 카메라를 이용해 개인 및 특정 전시물 촬영이 가능하다. 또한, 전시품에 대한 설명과 함께 전시장의 위치 정보 등도 제공된다. PDA를 휴대하고 다니면서 정보를 얻을 수 있어서 간편하지만 앞에서도 말했던 것처럼 화면의 크기가 작고 전시장에서 갖고 있는 PDA 수량의 한계가 있으므로 많은 사람들이 이용하기에는 한계가 있다. 일본의 Fine Arts Museum에서는 닌텐도 DS라는 휴대형 게임기를 사용자에게 제공하여 가이드 시스템 서비스를 하고 있다[5]. PDA와 마찬가지로 사용자에게 필요로 하는 정보를 제공해주고 있다. 그러나 작은 게임기 화면을 통해서 전달되는 전시품에 대한 설명은 사용자가 전시물에 대한 이해를 돕는 데 몰입감을 떨어뜨려 불편하다. 또한, 게임기의 수량에 한계가 있으므로 많은 사용자가 이용하기에는 어려움이 있다.

Kanbara는 HMD를 이용하여 건물 내부 및 외부에서 사용 가능한 가이드 시스템을 제안하였다[6]. HMD를 착용한 사용자에게 건물 위치 정보, 전시물의 설명 등을 증강 현실 기술로 제공해주며 가상 정보와의 상호작용도 가능하다. 그러나, HMD는 사용자의 눈과 HMD 에 장착된 카메라 시점 사이의 오차 또는 디스플레이의 낮은 해상도로 인하여, 사용자가 어지러움을 느낄 수 있다. 또한, 착용형 장치의 경우 사용자들은 육체적, 정신적 피로를 호소할 수 있다.

가이드 시스템에 쓰일 수 있는 다른 디스플레이 장치로 CRT/LCD 모니터, 프로젝터 등이 있다. 그 중 프로젝터는 최근 소형화, 가격 하락 등으로 기존의 디스플레이 장치들을 급속하게 대체하고 있다. 과거의 프로젝터는 정적으로 한정된 공간에서 다수의 청중들에게 정보를 제공해주는 수동적인 디스플레이 장치로 사용 되었으나, 최근에는 주어진 환경에 스스로 적응 해나가는 지능형 프로젝션 시스템으로 발전하였다[7]. 지능형 프로젝션 시스템이란 임의의 스크린에 증강현실 영상을 투사하더라도 이상적인(ideal) 스크린에 투사한 것처럼 왜곡 없는 증강현실 영상을 보여주는 시스템을 말한다. 본 논문에서는 이러한 지능형 프로젝션 시스템을 이용하여 많은 사용자에게 대화면 영상으로 정보를 제공할 수 있으며 주어진 환경에 스스로 적응하여 사용자의 위치 및 부가 정보를 왜곡 없이 투사해주는 프로젝터 기반의 지능형 가이드 시스템을 제안한다(그림 1 참조).

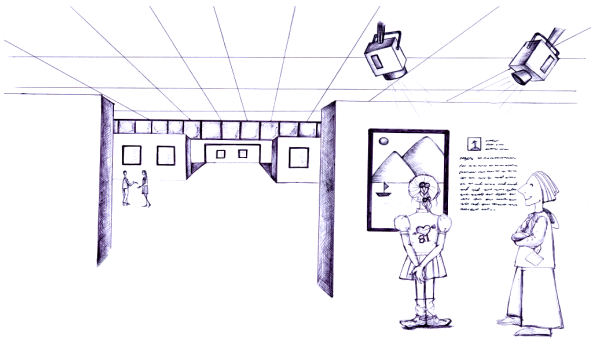


그림 1. 지능형 프로젝션 기술을 기반으로 한 지능형 가이드 시스템 개념도.

프로젝터가 스크린을 비스듬히 비출 때 발생할 수 있는 프로젝션의 기울어짐(skewness)은 대표적인 문제점으로서, 사용자의 시점에 따라 유동적으로 변하면서 프로젝션된 정보의 가시도(visibility)를 심각하게 저해한다. 이를 해결하기 위해서 마커나 패턴을 사용함으로써 부가적인 장치 없이 보정 결과의 정확성을 보장하면서도, 마커를 은닉함으로써 사용자의 눈에 전혀 거슬리지 않고 시스템과 사용자의 상호작용 관점에서도 우수한 방법을 이용한다[8]. 이러한 지능형 프로젝션 기술을 기반으로 박물관, 미술관 등의 환경에 스스로 알맞은 정보를 투사시켜주는 지능형 가이드 시스템을 구현한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제시한 지능형 가이드 시스템의 기술인 프로젝션 매커니즘에 대해 기술한다. 3장에서는 구현 과정에 대해 기술하고 4장에서 지능형 가이드 시스템을 기술한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 지능형 프로젝션 시스템 개념

이번 절에서는 본 논문에서 제안하는 지능형 가이드 시스템을 구현하는 데 있어서 필요한 지능형 프로젝션 기술에 대한 개념과 기술들을 소개한다. 먼저 카메라와 스크린 사이의 기하 관계를 계산하기 위한 invisible marker-based tracking[9] 기술에 대해 설명하고, 다음으로 보색 관계의 패턴을 이용하여 비가시적으로 프로젝터와 카메라 사이의 기하 관계를 구하는 방법에 대해 설명한다. 마지막으로 프로젝터와 스크린 사이의 기하 관계를 구하고 프로젝션의 기하 왜곡을 보정하는 방법에 대해 설명한다. 본 논문에서는 평면 스크린을 가정하고 있으며, 프로젝터, 카메라, 스크린 간의 기하 관계는 2D-2D 원근변환인 호모그래피(homography)로 정의된다.

2.1 카메라와 스크린 사이의 기하 관계 (H_{cs})

카메라와 스크린 사이의 기하 관계를 구하기 위해서 IR 마커를 사용한다. 실험에 사용되는 마커를 제작하기 위해 IR 1PenSm이라는 IR 잉크를 사용하였다. IR 잉크는 표 1에 나타난 특성들을 갖고 있다. 사람 눈은 색 파장 대역이 약 400nm에서 약 700nm 사이인 가시광선 색상만 볼 수 있으므로, IR 마커는 사람 눈에 보이지 않는다[9]. 그러나 IR 카메라와 같은 적외선 범위를 볼 수 있는 장치를 이용한다면 마커를 쉽게 추적할 수 있다. 그림 2에서처럼 IR 마커는 visible 카메라에서는 보이지 않지만, IR 카메라에서는 보인다.

표 1. IR 잉크의 특성

Ink color	Invisible on white paper. Faint green on pen tip.
Stimulation (absorption) frequency	793 nm
Emission frequency	840nm
Ink solvent	Alcohol

그림 2. 가시광선 영역에서의IR 마커(왼쪽), 적외선 영역에서의 IR 마커(오른쪽).

마커 기반의 증강현실 시스템은 그림 3에서처럼 일정한 공간에 마커가 필요하다. 그러나 마커가 존재한다는 것은 시각적으로 불편함을 주고 몰입감을 떨어뜨리는 단점이 있다. 그에 비해 정확성이 높으므로 성능이 보장된다. IR 마커는 사람의 눈에는 띄지 않지만 IR 카메라와 같은 특수한 기능을 갖는 카메라에서는 보인다. 그래서 IR 마커를 이용하여도 visible 마커와 똑같은 효과를 보여준다. IR 마커는 사람의 눈에 띄지 않아서 시각적으로 불편함을 덜어주며 사용자에게 몰입감을 한층 높여주는 효과를 보여준다.

(a) visible 마커 기반 증강현실 시스템의 예

(b) invisible 마커 기반 증강현실 시스템의 예

그림 3. invisible 마커와 visible 마커 비교

IR 마커는 invisible marker-based tracking 기술을 이용하여 추적된다. Invisible marker-based tracking 기술이란 cold mirror를 이용하여 시점이 일치된 visible 카메라와 IR 카메라를 이용하여 IR 마커의 위치를 추적하면서, IR 카메라와 동일한 visible 카메라의 외부 및 내부 파라미터를 추출하는 방법을 말한다[9].

본 논문에서는 ARToolkit[10]을 이용하여 IR 카메라 영상으로부터 IR 마커의 코너 점 4개를 추출한 후, 카메라와 스크린 사이의 호모그래피를 계산하였다. ARToolkit의 코너점 검출 알고리즘을 사용하기 위해 IR 마커는 사각형 모양으로 제작되었다. 가시적인 마커를 사용할 경우 불필요한 마커의 존재로 인해 사용자의 몰입감을 떨어뜨리는 단점이 있지만, IR 마커를 사용하면 가시적인 마커를 사용하는 것과 동일한 정확성을 보장해주며 시각적인 불편함을 줄여줌으로써, 사용자의 몰입감을 한층 높여준다. 가시적인 마커를 사용할 경우 마커가 배경을 완전히 가리기 때문에 배경의 영향을 거의 받지 않지만, IR 마커를 사용할 경우 배경과 중첩되기 때문에 배경이 복잡해질수록 마커 검출이 어려워진다[9]. 이러한 IR 마커의 배경 의존성을 해결하기 위해 단순히 IR 카메라 영상에서 IR 마커를 추적하지 않고, visible 카메라 영상과 IR 카메라 영상의 차 영상에서 IR 마커를 추적한다[9].

2.2 프로젝터와 카메라 사이의 기하 관계 (H_{pc})

프로젝터와 프로젝터와 카메라간의 기하 관계를 구하는 과정은 크게 보색 패턴 [11]을 투사시키는 인코딩 과정과 투사된 패턴을 카메라로 캡쳐한 후에 특징점을 찾는 디코딩 과정으로 나뉜다. 인코딩 과정은 그림 4에서처럼, 스크린에 체스보드 형태의 보색 패턴을 60Hz의 속도로 프로젝터에서 교대로 투사시켜준다. 본 논문에서는 보색 패턴으로 검정색-흰색 배열의 체스보드 패턴과 흰색-검정색 배열의 체스보드 패턴이 사용된다. 고속으로 투사된 보색 패턴은 눈의 잔상효과(persistence of vision)로 인해 보이지 않는다. 다음으로 디코딩 과정은 그림 4에서 보는 것처럼, 투사된 패턴을 프로젝터와 동기화된 카메라를 이용하여 프로젝터와 같은 속도로 캡쳐를 한다. 카메라와 프로젝터의 동기는 프로젝터로 들어가는 VGA 출력 신호를 카메라의 외부 트리거 단자에 연결하여 맞출 수 있다. 카메라는 프로젝터와 동기가 맞춰져 있기 때문에, 눈에 보이지 않는 패턴이 카메라 영상에서는 모두 관측된다. 획득된 카메라 영상으로부터 패턴의 코너점을 검출하여 프로젝터와 카메라 사이의 호모그래피를 계산한다. 패턴의 코너점 검출을 OpenCV[12] 함수를 사용한다.

2.3 프로젝터와 스크린 사이의 기하 관계 (H_{ps})

2.1절과 2.2절에서 구해진 카메라와 스크린 사이의 기하 관계(H_{cs})와 프로젝터와 카메라 사이의 기하 관계(H_{pc})으로부터 다음 식에 의해 프로젝터와 스크린 사이의 기하 관계(H_{ps})를 계산할 수 있다.

$$H_{ps} = H_{pc}H_{cs}$$

H_{ps}의 역변환을 H_{sp}라고 정의하면, 프로젝터와 스크린간의 기하 관계를 이용하여 프로젝터의 입력 영상을 다음과 같이

$$I' = H_{sp}I$$

미리 변환함으로써, 프로젝션의 기하 왜곡을 보정할 수 있다[13].

$$P = H_{ps}I' = H_{ps}(H_{sp}I) = (H_{ps}H_{sp})I = I$$

여기서, I, I'는 프로젝터 입력 영상 및 변환된 프로젝터 입력 영상, P는 프로젝션 영상을 의미한다.

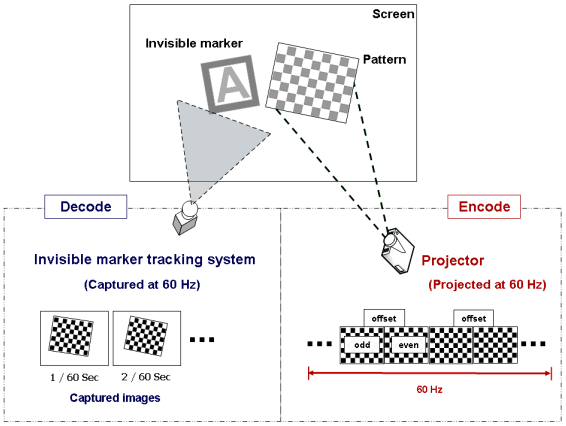


그림 4. 보색 패턴 인코딩 및 디코딩.

3. 지능형 프로젝션 시스템 구현

본 실험에서는 두 대의 카메라(Sony CCD-TRV 128, Prosillica EC655)를 각각 IR 카메라와 visible카메라로 사용하였다. 두 카메라는 cold mirror를 이용하여 시점이 일치되도록 배치하였다. IR 카메라에는 X-Nite 715nm 적외선 필터를 장착하여 IR 마커를 추적하도록 하였고 visible 카메라로 실세계의 장면을 촬영하였다. IR 마커는 IR1PenSm (IR invisible ink writing pen – 840nm peak) [9]을 이용하여 제작하였다. 프로젝터(Sony VPL-CX6)와 두 대의 카메라는 프로젝터로 입력되는 VGA 신호에서 Vertical-sync 신호를 카메라의 외부 트리거로 입력해 줌으로써 서로 동기화된다. 영상의 크기는 1024×768이다.

그림 5에서처럼 평면에 영상 기하 왜곡이 발생한 영상이다. 기하 왜곡이 발생한 영상 위에 IR마커를 부착하였다. 그림 6의 오른쪽 영상에서 보는 것처럼 마커를 부착하였지만 눈에 전혀 띄지 않는다. 그림 6의 왼쪽 영상은 visible 마커를 부착한 후 visible 카메라로 획득한 영상이다. 마커는 사용자에게 제공되는 정보를 가림으로써, 불쾌감을 준다. 그림 6의 오른쪽 영상에서처럼, IR 마커는 IR 카메라에서는 명확히 인식된다.

그림 5. 기하 왜곡 영상. 오른쪽 그림은 확대한 영상.

그림 7의 왼쪽 영상은 visible 카메라에서 본 visible 마커를 threshold한 영상이다. 투사된 영상과 마커가 중첩되어 마커 인식이 불가능하다. 반면, 그림 7의 오른쪽 영상에서 보는 것처럼, IR 마커는 투사된 영상에 영향을 받지 않으므로, threshold한 영상에서 마커 인식은 쉽게 이루어진다. 그림 8은 IR 마커와 보색 패턴을 이용하여 얻어진 스크린, 프로젝터, 카메라 사이의 호모그래피를 이용하여 프로젝터 입력 영상을 미리 변환하여 투사한 최종 결과 영상들이다. 그림 5에서 보였던 기하 왜곡이 정확하게 보정되었음을 확인할 수 있다.

그림 6. 가시광선 영역에서의 visible 마커(왼쪽), 적외선 영역에서의 IR 마커(오른쪽).

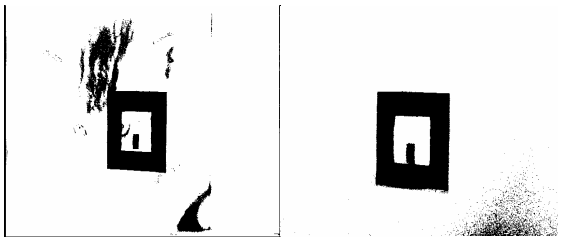


그림 7. visible 마커를 threshold한 영상(왼쪽), IR 마커를 threshold한 영상(오른쪽).

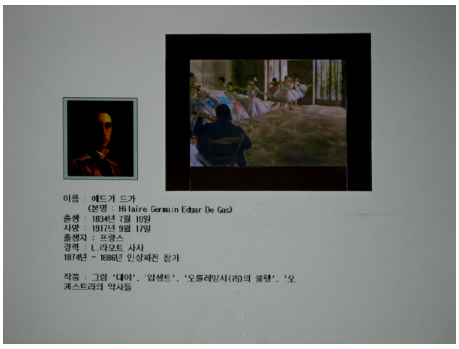
그림 8. 최종 보정된 영상.

4. 지능형 가이드 시스템

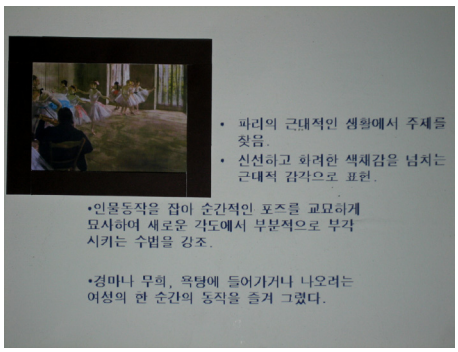
그림 9는 3장에서 설명한 지능형 프로젝션 기술을 토대로 지능형 가이드 시스템을 구현한 실험 환경이다. 현재는 구동형 프로젝터를 천정에 고정시킨 환경을 갖추지 못하여서 간단한 시나리오에 대한 실험 결과를 통해 시스템의 유용성을 검증한다.

그림 9. 실험 환경.

그림 10은 본 논문에서 제안한 시스템으로 실험한 결과 영상이다. 그림 10-(a)는 “발레 수업”이라는 미술 작품에 대한 화가의 정보를 보여준다. 그림 10-(b)는 작품 감상에 도움을 주는 정보를 제공하고 있다.



(a) 전시물에 대한 설명 예 1



(b) 전시물에 대한 설명 예 2

(c) 사용자의 진행 방향을 알려주는 예

그림 10. 지능형 가이드 시스템의 실험 결과.

그림 10의 (a), (b)에서 보는 것처럼, 지능형 가이드 시스템은 프로젝터의 위치에 독립적으로 필요한 정보를 사용자의 별도 셋팅없이 짧은 시간 안에 스스로 원하는 위치에 디스플레이 할 수 있다. 그러므로 사용자가 작품을 보고자 하는 위치에 맞게 작품 정보가 디스플레이 됨으로써 편안하게 그림을 감상할 수 있다. 또한, 기존의 휴대형 장치 및 착용형 장치 기반의 가이드 시스템과는 달리, 대화면 영상을 여러 사용자가 함께 공유할 수 있다. 사용자에 맞는 정보를 제공하기 위하여 영상인식 기술을 이용하여 사용자의 인식 및 추적한다. 그림 10의 (c)에서 보는 것처럼, 사용자를 인식하고 사용자가 감상하고 있는 작품의 성향과 연관된 작품의 위치를 사용자의 위치에 맞게 방향 정보를 알려줌으로써, 사용자를 효과적으로 인도할 수 있다. 이때 사용자와 투사되는 영상간의 간섭이 발생하지 않도록 사용자의 진행방향 앞쪽으로 가상정보를 투사시켜주어서 간섭 문제를 해결한다.

5. 결론

기존의 가이드 시스템은 작품에 대한 정보와 전시장의 위치 정보를 제공해준다. 그러나 장치를 착용 또는 소지해야 하는 한계를 가지고 있어서 사용자가 작품에 몰입하는 데 방해가 된다. 또한, 장치 수량의 제한으로 인하여 많은 사용자가 가이드 시스템을 이용할 수 없다. 또한, 빈번히 사용자의 조작을 요구하므로, 서비스를 이용하는 사용자에게 많은 불편을 주게 된다. 그러나 프로젝터 기반의 가이드 시스템은 장치를 착용, 소지해야 하는 불편을 없애고, 사용자가 편안하게 작품을 감상할 수 있도록 해준다. 본 논문에서는 프로젝터 기반의 가이드 시스템에서 더 나아가 임의의 공간에 원하는 전시물 구성, 설치 등을 신속, 정확하게 수행하는 지능형 가이드 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 사용자의 조작을 요구하지 않으며, 다수의 사용자에게 원하는 정보를 효과적으로 제공해줄 수 있었다. 제안된 시스템을 통해 기존 가이드 시스템에 비해 사용자의 서비스 만족도를 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 전시기획자에게는 바쁜 전시 일정으로 전시관의 작품을 교체해야 할 때나 작품의 배치를 바꿔야 할 경우에 지능형 가이드 시스템은 기존 프로젝션 시스템에 비해 단기간에 설치 변경이 가능하고 수시로 변경해야 할 때에도 주변 변화에 능동적으로 대처할 수 있게 된다.

본 논문에서의 지능형 가이드 시스템은 작품에 대한 정보를 수동적으로 제공해 주는 역할만을 수행한다. 향후 연구로는, 사용자가 원하는 대로 가상 정보를 조작할 수 있는 가상 컨트롤 시스템을 개발함으로써, 사용자의 요구에 능동적으로 대응하는 시스템으로 발전해 나갈 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문에서 제안된 시스템에 대한 스케치 이미지를 제공해주시고 미술 작품에 대한 자문을 주신 진가영님에게 감사의 말을 전합니다. 또한 실험을 하는 데 도움을 주신 손영주님, 최준영군에게 고맙다는 말을 전합니다.

참고문헌

[1] E. Bruns et al., “Enabling mobile phones to support large-scale museum guidance.” Technical Report, 2005.

[2] D. Schmalstieg and D. Wagner “A handheld augmented reality museum guide,” Proc. of ML’05. 2005.

[3] 국립 중앙 박물관, http://www.museum.go.kr/kor/

[4] 리움 미술관, http://www.leeum.org/html/aboutleeum/info.asp

[5] Fine Arts Museum, http://www.newlaunches.com/archives/japanese_museum_spreads_knowlege_using_nintendo_ds.php

[6] M. Kanbara et al., “Nara palace site navigator: A wearable tour guide system based on augmented reality,” Proc. 3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing, pp. 7-14, 2004.

[7] R. Raskar et al., “iLamps: Geometrically aware and self-configuring projectors,” Proc. of SIGGRAPH, vol.22, pp. 809-818, 2003.

[8] Y. Jin et al., “Intelligent projection system using IR marker and complementary patterns,” Proc. of IEEK’06, pp.870-873, 2006.

[9] H. Park and J.-I. Park, “Invisible marker based augmented reality system,” Proc. of VCIP’05, pp.501-508, 2005.

[10] ARToolkit library, http://artoolkit.sf.net

[11] H. Park et al., “Undistorted projection onto dynamic surface,” Proc. of PSIVT’06, 2006.

[12] Intel OpenCV library, http://sf.net/projects/opencvlibrary/

[13] H. Park et al., “Surface-independent direct-projected augmented reality,” Proc. of ACCV’06, 2006.