

논문 2012-49CI-4-10

3차원 재구성을 위한 마커 기반 탠저블 인터페이스 (Marker-based Tangible Interfaces for 3D Reconstruction)

정 경 부*, 박 종 일**, 최 병 욱***

(Kyungboo Jung, Jong-Il Park, and Byung-Uk Choi)

요 약

다양한 사용자들이 증강 현실을 쉽게 제작하기 위하여 3차원 물체의 추적 및 인식이 가능하도록 하기 위한 물체 등록과정이 직관적이고 간단하여야 한다. 물체 등록에 활용될 수 있는 다양한 3차원 재구성 방법이 개발되었지만, 아직은 실험적인 단계에 있다. 본 논문은 증강 현실 저작 시 다양한 사용자들에게 다양한 환경에서 직관적으로 활용될 수 있도록 하기 위한 3차원 재구성 방법으로 마커를 활용하는 마커 기반 탠저블 인터페이스를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 인터페이스를 이용하여 사용자가 물체의 표면을 직접 접촉함으로써 물체 여러 표면의 3차원 기하학 정보를 획득한다. 이 인터페이스를 이용하여 단순히 그래픽적인 모델링을 위한 3차원 재구성을 하는 것이 아니라 물체의 특징점 정보를 제공함으로써 증강현실에 활용할 수 있도록 한다. 최종적으로 제안하는 방법을 통하여 증강 현실 응용을 보임으로써 제안하는 방법의 효용성을 확인한다.

Abstract

In order to support simple authoring an application of augmented reality for diverse users, the process for the object registration comprised of tracking and recognizing the object should be accomplished intuitively and simple. Although many 3D reconstruction methods to be applied to the object registration have been developed, the methods have not beyond the experimental level yet. In this paper, we proposed a novel marker-based tangible interfaces for various users to manipulate the object with intuitive and simple approaches during an authoring applications for augmented reality. The proposed method make use of marker as intuitive interface to obtain 3D geometric information of 3D reconstruction. 3D geometric information of an object surface is acquired by touching the object directly with the proposed tangible interfaces. The tangible interfaces not only support 3D reconstruction for graphical modeling but also offer features information which is used for augmented reality. Finally, we verify efficiency of the proposed method with demonstration of an augmented reality application using the proposed method.

Keywords : 3차원 재구성, 마커 기반 탠저블 인터페이스, 마커리스 증강 현실

I. 서 론

증강현실은 물체 인식 및 추적(tracking)기술과 그래픽 기술이 결합이 되어 사용자의 현재 주변 환경

(Context)에 맞는 부가적인 정보를 제공해주는 기술이다. 즉, 다양한 정보를 시각화 시켜줄 수 있는 그래픽 기술과 시각화된 정보가 디스플레이 될 물체의 위치를 추출할 수 있는 물체 인식 및 추적 기술들이 접목되어 증강 현실 기술이 완성된다.

기존 증강 현실에서는 가상 물체를 현실 상황에 맞게 증강하기 위하여 물체 인식 및 추적 기술에 초점을 두어 연구가 진행되어 왔다^[1~3]. 증강 현실 기술에 대한 초반 연구에는 물체 인식을 쉽게 할 수 있도록 하기 위하여 마커 기반으로 정확한 카메라 정보를 획득하여 가상의 물체를 증강하는 것에 초점을 두었지만, 최근에는

* 학생회원, 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
(Dept. of Electronics and Computer Engineering
Hanyang University)

** 정회원-교신저자, *** 평생회원, 한양대학교 컴퓨터공학과

(Division of Computer Science and Engineering
Hanyang University)

접수일자: 2012년3월16일, 수정완료일: 2012년6월21일

물체 인식의 비약적인 발전으로 비현실적인 마커를 접차 없애는 마커리스(Marker-less) 기반 증강 현실의 형태로 연구가 진행되고 있다.

마커리스 기반 증강 현실을 구현하기 위하여 안정적인 물체 인식과 특징점 추출, 물체의 3차원 정보 획득 등의 영상처리 기술이 필요하다. 이 중 물체의 3차원 기하학 정보를 정확하게 추출하기 위하여 정확하고 안정적인 특징점 검출 및 추적 방법이 필요하다. 일반적으로 2차원 평면의 일정 영역만을 자연 마커로써 활용하여 물체의 3차원 정보를 쉽게 획득한다. 하지만 이러한 경우 카메라를 통하여 2차원 평면을 인식할 수 있는 각도 범위가 한정적이라는 단점이 존재한다. 즉, 증강 현실의 마커로써 물체의 제한을 두지 않도록 3차원 기하학 정보 획득할 수 있는 기술이 필요하다. 최근 마커리스 기반 증강 현실의 경우 물체 인식의 기술을 이용하여 마커로써 활용될 정보를 등록하고 이에 대한 추적 알고리즘이 많이 개발되고 있지만, 일반 사용자를 대상으로 마커리스 기반 증강 현실을 제공하기에는 물체 등록과 안정적인 추적, 특징점들의 3차원 정보 추출 및 관리 등 아직 해결해야 할 문제들이 많다. 본 논문은 마커리스 기반 증강 현실을 구현하기 위하여 물체 추적에 필요한 3차원 기하학 정보를 사용자가 직접 물체를 접촉함으로써 손쉽게 획득할 수 있도록 하는 마커 기반의

저작 도구를 제안한다. 물체 추적과 증강 현실 등의 응용에 사용되기 위하여 물체의 특징 정보를 추출하기 위하여 크게 두 가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 오프라인에서 물체와 배경을 분리한 후 물체 영역의 특징 정보만 추출하는 방법이고, 두 번째는 온라인에서 사용자의 직접적인 개입을 통하여 물체 영역의 특징 정보만을 추출하는 방법이다. 그림 1은 물체의 특징 정보를 추출하기 위한 이 두 가지 방법의 예를 보여주고 있다. 그림 1 (a)는 사용자의 관심 물체가 포함된 카메라 입력 영상을 나타내고, 그림 1 (b)는 특징 정보를 추출하기 위하여 관심 물체를 오프라인으로 추출하여 평면들을 다시 분리한 결과를 보여준다. 이와 같은 방법의 경우 직육면체가 아닌 다각형 혹은 곡면 형태의 물체에는 적용이 복잡하거나 불가능한 단점이 있다. 그림 1 (c)는 본문에서 제안하고자 하는 방법으로써 사용자가 실시간으로 직접 개입함으로써 특징 정보를 직접 추출하는 방법을 나타낸다. 사용자가 마커가 있는 펜을 이용하여 펜끝을 물체에 직접 닿음으로써 물체의 3차원 정보를 획득하게 된다.

증강 현실을 구현하기 위하여 마커로써 활용될 물체의 기하학 정보를 직접 측정하는 방법이 가장 원시적이지만 가장 정확한 방법이라고 할 수 있다. 하지만 정육면체와 같이 기하학적인 형태가 간단한 경우 3차원 기하학 정보 기술(description)이 간단하여 일반 사용자들이 쉽게 접근할 수 있지만, 복잡한 물체의 경우 3차원 모델링 프로그램을 이용한다거나 3차원 재구성 프로그램, 3차원 모델링 장비를 이용하는 등 물체의 3차원 기하학 정보를 기술하기 위하여 많은 학습 시간이나 비용이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 그림 1 (c)와 같이 펜을 물체에 접촉하여 움직이는 간단한 사용자 상호작용만으로 물체의 3차원 기하학 정보를 쉽게 획득할 수 있도록 하기 위한 마커 기반의 텐저블 인터페이스(tangible interface)와 이 인터페이스를 이용한 사용자 상호 작용 방법을 제안한다. 비록 마커 기반의 인터페이스를 제안하지만 이 인터페이스는 마커리스 기반 증강 현실을 저작하기 위하여만 사용하는 것이고 마커리스 증강 현실 실현 시에는 마커를 사용하지 않는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 증강 현실 기술을 이용하여 증강 현실을 위한 콘텐츠 저작 도구와 마커를 이용한 3차원 재구성에 활용한 기존 연구들을 살펴보고, III장에서 본 논문에서 제안하는 텐저블 인터

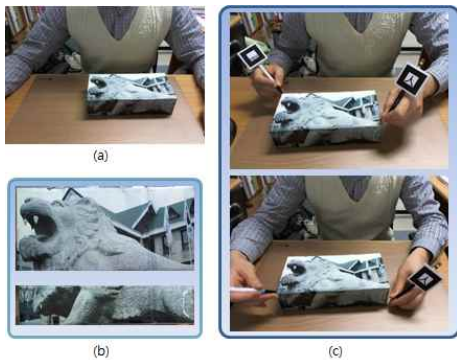


그림 1. 물체의 특징 정보를 획득하기 위한 인터페이스 비교 (a) 특징 정보를 획득하고자 하는 물체 (b) 카메라로 촬영된 물체를 오프라인으로 평면단위로 분할하는 방법 (c) 사용자가 펜을 이용하여 정육면체의 사분면을 하나씩 지정하여 면의 3차원 정보를 획득하는 방법

Fig. 1. The interface comparison to extract features of objects. (a) An object to extract features from it. (b) A segmentation method of a captured object into plane parts in offline. (c) An intuitive method to extract features by user intervention.

페이스 설계와 이를 활용한 3차원 재구성 방법에 대하여 살펴본다. IV장에서 제안하는 방법을 이용한 모델링 과정과 증강 현실에 적용한 결과를 보임으로써 제안하는 방법의 효용성을 증명한다. 마지막 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

증강 현실의 가장 큰 기능이 사용자 관심 물체 혹은 사용자 주변 상황에 대한 부가적인 정보의 효율적인 전달이기 때문에 교육과 훈련, 광고, 프레젠테이션 분야 등에 많이 사용되어 왔다. 하지만 이러한 분야에서는 제한된 환경에서 이미 만들어져 있는 시나리오와 콘텐츠만을 사용하기 때문에 아직까지는 증강 현실을 사용하는 효과가 떨어졌다. 최근 스마트기기가 대중화되고 다양한 사용자들이 직접 콘텐츠를 제작할 수 있도록 하는 방법들이 개발이 되고 있어 게임, 내비게이션 등과 같이 더 많은 분야에 증강 현실이 사용되고 있다. 전문적인 지식이 없는 사용자들이 손쉽게 콘텐츠를 제작할 수 있도록 위한 마커 기반 탠저블 인터페이스를 이용한 콘텐츠 제작에 관한 연구 중 촉지 가능한 저작 도구(Tangible Authoring Tool)가 대표적이라고 할 수 있다^[4]. 콘텐츠의 변형에 필요한 도구와 콘텐츠들 사이의 관계 정의, 콘텐츠의 3차원 움직임을 제어 등을 하기 위한 다양한 도구를 여러 마커로써 정의하여 저작 도구를 제안하였다. 이 방법은 동일한 콘텐츠로 사용자에게 따라 다양한 스토리 전개가 가능하도록 설계되어있다. M. Bordegodí^[5]와 P. Santos^[6], 이정규^[7] 등이 제안하는 방법은 3차원 가상 물체를 제작하기 위하여 2차원 마우스와 키보드를 사용해야 하는 CAD와 같은 응용 프로그램과 다르게 3차원 인터페이스를 이용하여 사용자가 원하는 가상 콘텐츠를 직접 제작할 수 있도록 하였다. 특히 이정규등이 제안한 컨텐츠 저작 인터페이스^[7]는 모바일 장치에서 마커를 기반으로 한 3차원 인터페이스를 이용하여 사용자가 자유롭게 직관적으로 3차원 가상 물체를 생성할 수 있도록 하였다.

증강 현실의 구현을 위하여 필수적으로 필요한 부분이 증강시키하고자 하는 물체의 인식을 위한 기술과 정확한 위치에 증강을 하기 위한 3차원 정보획득이다. 이 두 부분의 요구사항을 쉽게 충족시키기 위하여 마커를 사용하였지만 점차 사용자의 요구와 물체 인식의 기술

이 발전하면서 마커리스 기반 증강 현실로 변화하고 있다. 물체 인식의 경우 SIFT^[8] 혹은 SURF^[9]를 활용하여 구현이 가능하다. 3차원 기하학 정보 획득의 경우 다양한 3차원 재구성 방법을 이용할 수 있다. 기존의 3차원 재구성 방법을 살펴보면 크게 센서를 이용하는 방법^[10-11]과 다중 시점 영상의 기하학적인 해석을 이용하는 방법^[12-15]이 있다. 센서를 이용하는 경우는 비용적인 측면과 사용자 센서에 대한 정확한 이해가 필요하기 때문에 적합한 방법이 아니다. 스테레오 카메라 혹은 다중 시점 영상의 기하학적인 해석에 의한 방법들 중 손쉽게 3차원 정보를 획득할 수 있도록 하는 연구들이 있지만, 모든 형태의 물체를 완벽하게 모델링하기에는 다소 부족한 부분이 존재하고 아직은 연구실 실험 수준이라고 할 수 있다. Virtual Duplication^[16] 방법의 경우 여러 개의 마커를 3차원 재구성(3D Reconstruction)하고자 하는 물체 주변에 배치하고 카메라를 다양한 방향으로 바라보면서 손쉽게 3차원 정보를 획득할 수 있도록 하였다. 하지만 물체와 마커와의 관계가 고정되어 있어야 하기 때문에 바닥 면과 같이 가림(occlusion)이 있는 부분에 대하여 3차원 재구성이 불가능하거나 마커들이 이루는 영역 안에 모델링하고자 하는 물체가 포함되어야 하는 제약 사항이 존재한다.

본 논문에서는 마커 기반 탠저블 인터페이스를 이용하여 가상 콘텐츠를 제작하는 인터페이스 및 사용자 상호 작용과 마커 기반 3차원 재구성 방법의 장점을 접목하여 실제 물체를 사용자가 직관적으로 모델링할 수 있도록 함으로써 마커리스 기반 증강 현실을 위한 새로운 마커 기반 3차원 재구성 방법을 제안한다. 특히 제안하는 방법을 이용하여 사용자에게 직관적으로 물체의 3차원 기하학적인 정보와 증강 현실에 활용될 수 있도록 특징점을 추출할 수 있도록 제공해주는 인터페이스 개발을 목표로 한다. 이는 스테레오 카메라 혹은 다중 시점 영상의 기하학적 해석 방법을 이용하여 영상에서 추출된 특징점들을 이론적 기하학 해석 방법 기반으로 점들의 3차원 정보를 추출하는 경우에 비하여 영상 내에서 마커라는 실제 정답값을 통하여 카메라와 마커와의 관계를 좀 더 정확하게 획득할 수 있고, 또한 이 관계를 통하여 영상내에서 내가 원하는 물체 특징점의 3차원 정보를 좀 더 정확하게 추출할 수 있다. 또한 거리 측정 센서를 사용하는 방법과 유사한 정확도를 가지면서 비용을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

III. 제안하는 방법

사용자에게 직관적인 3차원 재구성 방법을 제공하기 위하여 펜을 이용하여 직접 3차원 물체를 모델링 할 수 있도록 하는 마커 기반의 탠저블 인터페이스를 제안한다.

1. 탠저블 인터페이스 설계

물체를 직접 접촉함으로써 직관적으로 물체를 모델링하기 위해서는 일반 사용자들이 일상생활에서 가장 많이 활용하고 그림을 그리거나 조각을 할 때 가장 친숙하게 사용하는 펜 형태의 인터페이스를 사용하는 것이 가장 효율적이다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 펜의 모습을 보여준다. 그림 2 (a)는 본 논문에서 사용한 탠저블 인터페이스의 실제 모양을 나타낸 것이고, 그림 2 (b)는 카메라를 통하여 마커를 인식한 후 가상의 펜을 증강시킨 모습이다. 그림 2의 (c)는 각 마커의 기준좌표계를 표현한 것이고, 빨간색과 녹색, 파란색으로 표현된 선이 각 x, y, z축을 나타낸다. 그림 2 (a)에서 확인할 수 있듯이 사용자가 펜을 쥐었을 시점과 놓았을 시점을 구분하기 위하여 펜을 쥐었을 때 손가락이 놓이는 위치에 색 띠를 붙였다. 또한 마커를 펜의 중앙에 붙임으로써 사용자가 물체를 붓으로 문지르는 것과 같은 상호 작용(interaction)을 줄 수 있도록 하였다. 이 경우 마커가 손가락 앞에 위치하기 때문에 펜촉 좌표의 추적 여부를 색 띠가 아니라 손가락으로 마커를 가림 유무로 결정할 수 있다. 색 띠 위치와 펜촉 부분의 3차원 위치 계산을 위하여 펜 끝 부분에 마커를 붙여 마커와 카메라와의 변환 행렬을 이용한다. 수식 1은 카메라

와 마커 중심과의 변환 관계를 나타낸다.

$$M = [R|t]C \tag{1}$$

여기서, M 은 마커의 3차원 위치를 나타내는 벡터이고, R 은 카메라와 마커 사이의 회전 관계를 표현하는 행렬이다. t 는 카메라와 마커 사이의 3차원 거리를 나타내는 벡터이고, C 는 카메라의 위치를 나타내는 벡터이다. 수식 (1)에서 계산한 마커의 3차원 위치와 마커와 펜촉간의 실제 거리를 표현한 행렬을 이용하여 펜촉의 3차원 위치를 계산한다. 수식 (2)는 카메라에서부터 펜촉 간의 관계를 나타내는 수식이다.

$$P = [I|D]MC = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -d \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [R|t]C \tag{2}$$

여기서, I 는 항등 행렬(identity matrix)을 나타내고, D 는 마커와 펜촉사이의 거리 d 를 마커의 지역 좌표계에 맞게 표현한 벡터이다. 펜촉과 마커는 회전은 없고 y 축으로만 이동한 관계이기 때문에 회전은 항등 행렬로 표현하였고, 거리 변환 행렬 D 는 y 축의 이동 값 외에는 0으로 설정하였다. 색 띠의 3차원 위치 역시 수식 (2)에서 d 의 값을 마커와 색 띠 사이의 거리로 바꿔서 계산한다.

모델링을 할 때 펜을 실제 모델링에 사용하는 것처럼 하기 위하여 사용자가 손가락으로 펜을 쥐고 움직일 수 있도록 하였고, 모델링을 위한 움직임이 아닌 사용자가 펜을 가지고 의미 없는 움직임과 구분할 수 있어야 한다. 이를 위하여 색 띠와 손가락의 색상을 이용하여 색 띠가 붙여진 부분에 색 띠가 보이는지 손가락이 보이는

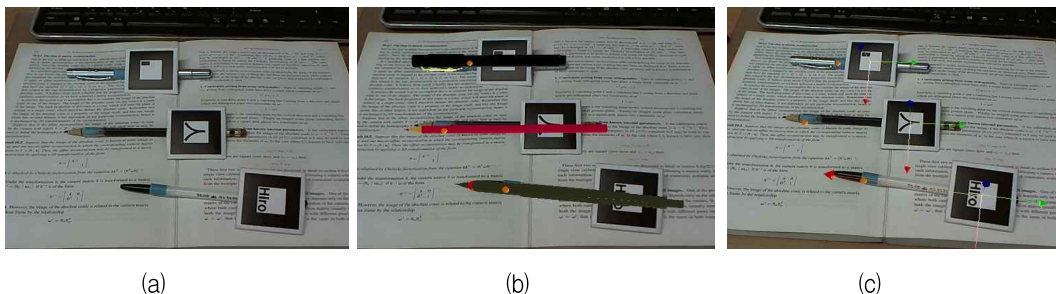


그림 2. 저작 도구 (a) 마커 기반 펜을 이용한 저작 도구의 실제 모습 (b) 가상의 펜을 증강시킨 모습 (c) 각 마커의 기준좌표계를 증강시킨 모습

Fig. 2. Authoring tool. (a) Original authoring tool using marker-based pen. (b) Augmented virtual pen. (c) Augmented coordinate system.

지 여부를 판단한다.

2. 사용자 상호 작용 정의

사용자 손 움직임의 자유도를 최대한 많이 활용할 수 있도록 한다면 사용자 상호 작용을 이용한 모델링 작업의 능률이 배가될 수 있다. 따라서 사용자가 물체를 빠르게 모델링하기 위하여 사용자가 실제로 모델링을 하기 위하여 취하는 사용자의 다양한 손 움직임 행동을 그대로 사용할 수 있어야 한다. 제안하는 인터페이스의 경우 마커의 3차원 이동 정보뿐만 아니라 회전 정보까지 파악할 수 있기 때문에 펜을 손에 쥐고 손가락을 이용하여 다양한 형태로 움직여 펜의 자세(pose)를 변형하더라도 펜의 모든 움직임 정보를 파악할 수 있다. 따라서 제안하는 인터페이스를 모델링을 위한 상호 작용에 사용한다면 펜을 손에 쥐는 상태에서의 손의 모든 자유도가 허용될 수 있다.

제안하는 펜을 모델링에 사용하기 위하여 사용자는 펜촉을 물체의 표면에 닿게 한 후 색 띠를 손가락으로 가리고 펜을 물체 표면 위에서 자유롭게 이동한다. 손가락으로 색 띠를 가림으로써 펜촉의 위치를 마커를 통하여 지속적으로 추적하게 되고, 펜촉에 위치한 물체 표면의 영상 내의 2차원 정보와 카메라와의 3차원 정보 획득을 시작한다. 실제 물체를 인간이 3차원 기하학적인 형태를 인지하기 위하여 물체를 여러 방향으로 바라보는 등의 행동들을 모방하여 사용자가 여러 방향에서 물체를 바라보면서 펜을 이용하여 축지 하듯한 행동을 물체 모델링을 위한 상호 작용으로써 적용한다. 그림 3은 사용자가 물체의 한 점에 대한 3차원 정보를 획득하기 위하여 펜과 카메라와의 관계가 정해져 있지 않고 펜이 어떠한 방향으로 놓여있어도 모델링이 가능하다는 것을 나타낸다.

물체를 모델링하기 위하여 3차원 정보를 추출하는 추적 펜(tracker pen) 하나만 사용한다면 점(point) 단위로 정보를 추출해야 하기 때문에 물체의 모든 면을 다 접촉을 해야만 완전한 3차원 모델링을 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 다양한 형태의 물체를 빠르게 모델링하기 위하여 3차원 정보 추출을 위한 pen 이외에 3차원 정보 추출의 방법을 다양하게 할 수 있도록 하는 제어 펜(control pen)을 추가적으로 사용한다. 제어 펜에 의하여 3차원 정보 추출 펜의 움직임 패턴을 다양하게 함으로써 복잡한 형태의 모양도 쉽고 빠르게 모델링할 수 있게 한다. 마커에 따라 제어 펜의 역할이 결정이 되며 본 논문에서는 펜촉의 크기와 사각형의 영역을 결정해주는 것(사각 제어 펜)과 붓 형태로 펜촉을 바꾸주는 제어 펜(붓 제어 펜) 두 가지를 제안한다. 사각형의 영역을 결정해주는 사각 제어 펜의 경우 추적 펜과 사각 제어 펜 두 개가 영상 내에 존재할 경우 두 펜으로 만들어지는 사각 영역내의 특징점들을 추후 물체 인식에 활용할 수 있도록 데이터베이스에 저장한다. 붓 제어 펜은 사용자가 추적 펜과 붓 제어 펜을 두 지점에 두고 동시에 움직이고, 이때 추적 펜과 붓 제어 펜의 펜촉이 이루는 3차원 직선을 붓의 솔 기능을 하게 한다. 결과적으로 사각 제어 펜은 평면을 빠르게 모델링 할 수 있게 해주고, 붓 제어 펜은 곡면등과 같은 영역을 빠르게 모델링할 수 있게 해준다. 추적 펜과 사각 제어 펜이 이루는 영역 내부 혹은 직선 사이의 3차원 정보는 평면 방정식과 직선의 방정식을 이용하여 획득한다. 특히 추적 펜과 사각 제어 펜이 이루는 사각형 영역의 3차원 평면 방정식을 구하기 위해 필요한 세 개 이상의 점은 영상 내에서 사각 제어 펜과 추적 펜의 위치로 이루어지는 사각형의 네 모서리의 위치로 결정한다. 이 사각형의 각 모서리의 3차원 정보는 이전 프레임과 현재 프

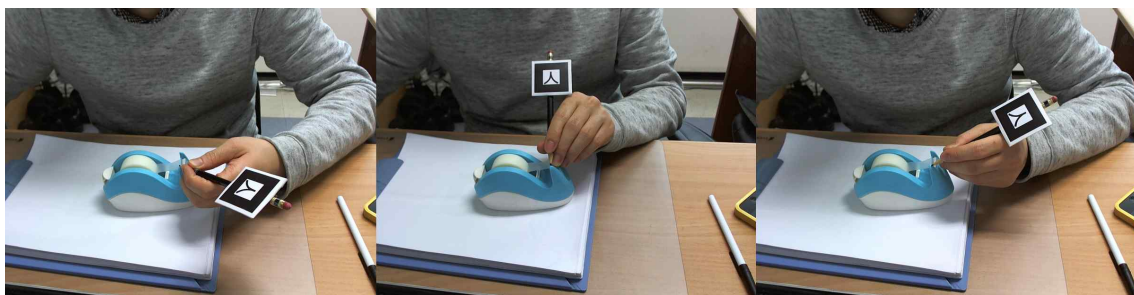


그림 3. 물체의 한 점을 모델링하기 위한 다양한 펜의 자세
Fig. 3. various pen poses for modeling of a point of an object.

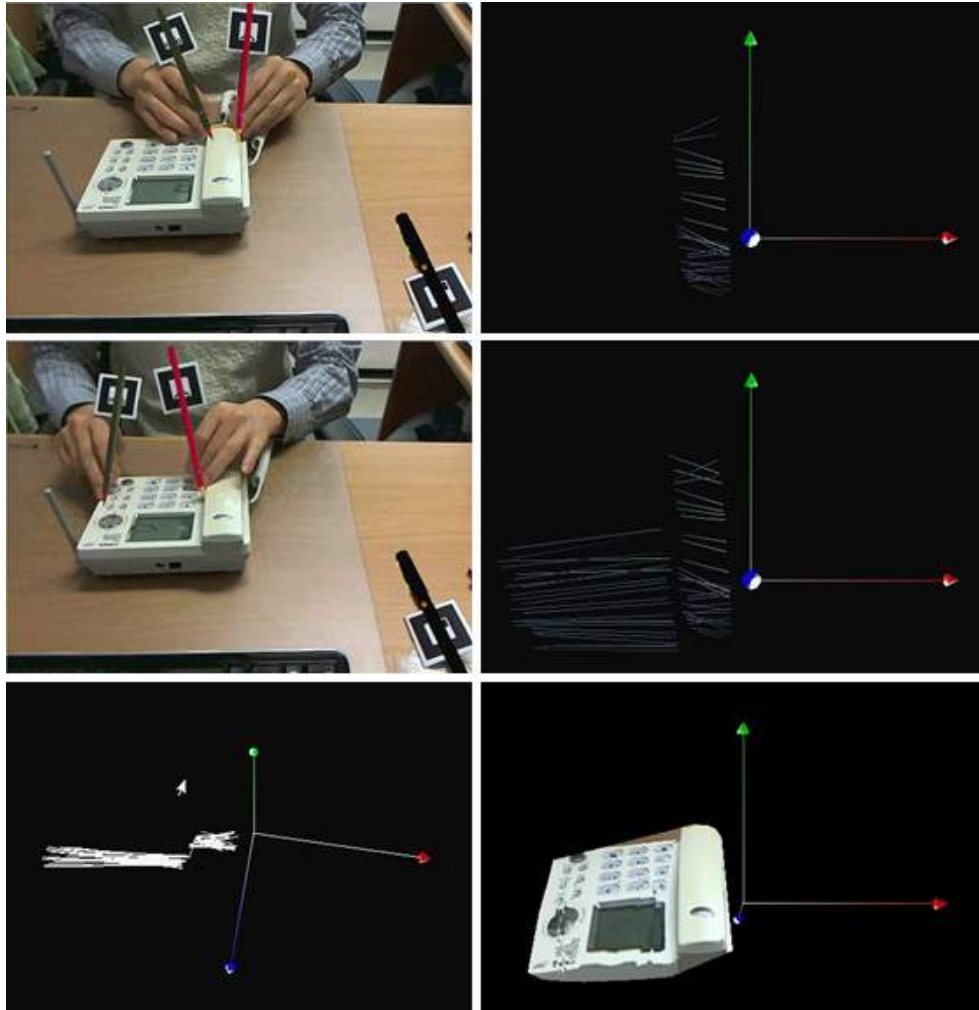


그림 4. 붓 제어 펜을 사용한 전화기 모델링 과정 (첫 번째 행) 수화기 모델링 (두 번째 행) 전화기 본체 모델링 (세 번째 행) 붓 제어 펜을 사용하여 모델링한 결과

Fig. 4. 3D modeling process using brush control pen. (first row) Modeling of a telephone receiver. (second row) Modeling of a telephone body. (third row) Result of modeling using brush control pen.

레이스에서 각각 마커와 카메라 사이의 변환 행렬을 DLT(Direct Linear Transform)방법을 사용하여 계산한다. 두 제어 펜 모두 추적 펜과 동일한 방법으로 펜촉의 위치를 찾아 제어 펜의 역할을 수행하며 마커들의 절대 좌표값을 획득하기 위하여 카메라는 고정한다. 그림 4는 제어 펜을 사용하여 전화기를 모델링하는 과정을 나타내는 그림이다. 그림 4의 첫 번째 행과 두 번째 행에서 보는 것과 같이 수화기와 전화기 본체를 나누어 모델링하였고, 수화기의 경우 곡면으로 되어 있어 사각 제어 펜을 활용하는 것보다 붓 제어 펜을 활용하는 것이 효과적이다. 첫 번째 행 왼쪽 그림은 사용자가 두 펜을 이용하여 수화기 윗부분부터 모델링을 시작하여 아랫부분으로 내려온 모습이고, 첫 번째 행의 오른쪽 그

림은 이에 대한 3차원 모델링 결과이다. 여기서 각각의 직선들은 두 펜이 이루는 직선을 나타내는 것이고, 수화기 윗부분부터 아랫부분까지 펜이 움직였기 때문에 여러 개의 직선으로 나타난 것이다. 두 번째 행의 왼쪽 그림은 전화기 몸체를 모델링하는 과정을 나타내는 것이고, 오른쪽 그림은 이에 대한 3차원 모델링 결과이다. 두 번째 행의 오른쪽 모델링 결과 그림의 경우 수화기 모델링 결과와 몸체 모델링 결과가 합쳐진 결과이다. 세 번째 행의 왼쪽 그림은 전화기의 3차원 모델링 결과를 전화기의 정면 시점에서 바라본 모습이고, 수화기와 본체의 높이가 다르게 모델링되었음을 확인할 수 있다. 세 번째 행의 오른쪽 그림은 전화기의 3차원 모델링 결과에 텍스처(texture) 정합을 한 최종 결과이다.

IV. 실험과 응용

본 논문에서 제안하는 방법을 사용하여 물체를 3차원 재구성하는 과정과 3차원 재구성된 물체의 정확도를 확인하고, 3차원 재구성된 물체를 실제 증강 현실의 응용으로 활용하였다.

1. 3차원 재구성 과정

사용자가 제안하는 인터페이스를 이용하여 물체를 모델링하는 과정에서 재구성 중간 결과부터 최종 결과까지 보여줌으로써 모델링의 직관성을 보인다. 그림 5와 그림 6은 두 물체의 3차원 재구성 과정과 결과를 각각

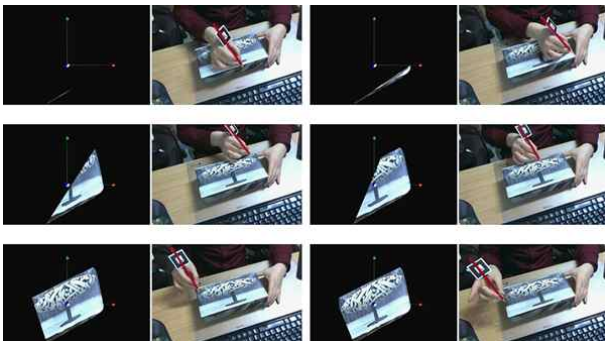


그림 5. 제안하는 저작 도구를 이용하여 직육면체 형태의 물체를 모델링하는 과정

Fig. 5. 3D modeling process of a rectangular parallelepiped object with proposed authoring tool.

보여주는 그림이다. 그림 5는 직육면체 박스의 윗 평면을 모델링하는 과정을 보여주는 것이고, 윗 평면의 오른쪽 상단 모서리부터 모델링을 시작하여 물체의 모서리를 따라서 추적 펜을 이동시키면서 모델링을 하는 모습이다. 그림 5의 최상단에서부터 하단으로 내려올수록 물체의 윗면이 점차적으로 모델링되는 모습을 확인할 수 있다. 그림 6의 경우 한 면이 아니라 여러 면을 모델링한 결과를 보여준다. 그림 6의 첫 번째 열은 모델링 결과이고, 두 번째 열은 실제 물체를 보여준다.



그림 6. 3차원 모델링 결과 (첫 번째 열) 제안하는 저작 도구를 사용한 3차원 모델링 결과 (두 번째 열) 3차원으로 모델링된 결과의 실제 모습

Fig. 6. Result of 3D modeling. (first row) Result of 3D modeling using the proposed authoring tool. (second row) Original appearance of the modeling result.

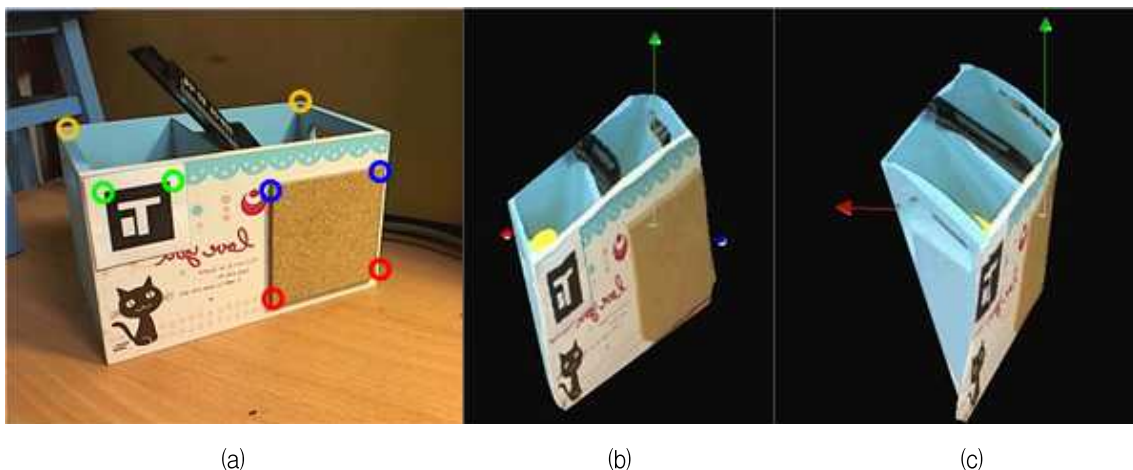


그림 7. 모델링 정확도 측정 (a) 실제 물체의 거리 측정 위치를 나타내는 모습 (b) 현재 카메라가 바라보는 시점에서 가상 물체를 바라본 모습 (c) 가상 시점에서 물체를 바라 본 모습

Fig. 7. Measurement of modeling accuracy. (a) Positions for distance measurement of real object. (b) Virtual object at viewpoint of current camera. (c) Virtual object at virtual viewpoint.

2. 3차원 모델링 정확도

모델링의 정확도를 확인하기 위하여 점과 점 사이의 길이를 실제 길이 값과 모델링된 정보에서 계산된 길이 값을 비교하였다. 모델링된 정보에서 측정하고자 하는 곳은 모델링 중에 색 띠 버튼의 클릭 행동을 이용하여 시작점과 끝점으로 지정할 수 있도록 하였다.

그림 7 (a)는 실제 물체의 모습이고, 측정하고자 하는 곳에 원으로 표시하였다. 그림 7 (b)는 모델링된 물체를 실제 카메라의 시점과 동일한 시점에서 바라본 모습이고, 그림 7 (c)는 측면 시점에서 바라본 모습이다. 측면 시점에서 바라본 모습을 보면 실제 물체를 측면에서 바라본 모습과 비슷하다는 것을 알 수 있다.

표 1은 그림 7 (a)에서 표시된 원 중 동일한 색상의 원이 이루는 선의 길이를 실제 물체를 자를 이용하여 측정한 값과 모델링 된 정보에서 계산된 값과 비교한 결과이다.

표 1의 파란색 원과 빨간색 원이 이루는 선의 길이를

보면 실측값과의 차이가 0mm과 0.07mm이고 자를 이용한 측정 오차 범위에 있다고 할 수 있기 때문에 제안하는 방식을 이용한 모델링 결과가 정확하다고 할 수 있다. 하지만 주황색 원이 이루는 선의 길이를 보면 21.83 mm의 오차가 발생한다. 이는 마커와 카메라간의 거리가 멀어질수록 마커 위치 검출의 오차가 민감하게 반응하기 때문이다. 기존의 적외선나 초음파, 레이저 등 거리

표 1. 3차원 모델링의 정확도
Table 1. Accuracy of 3D modeling.

	실제길이 (mm)	모델링 물체의 길이 (mm)
파란색 원	73	73.00
빨간색 원	73	73.07
녹색 원	34	38.14
주황색 원	170	148.17

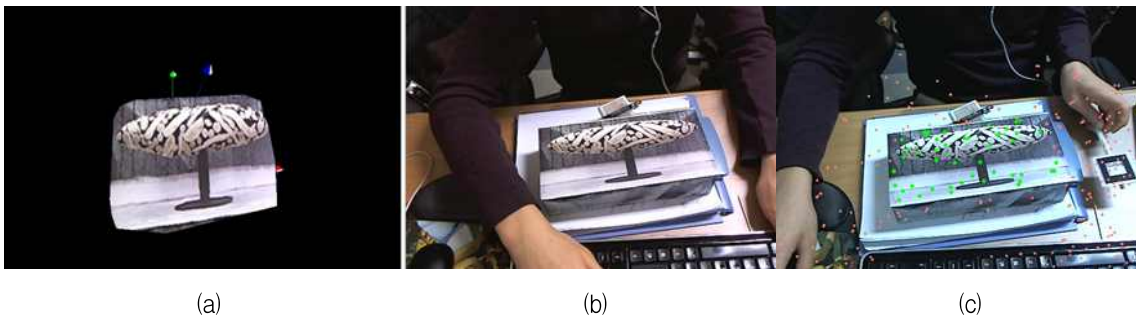


그림 8. 증강 현실 응용을 위한 모델링 결과 (a) 3차원 모델링 결과 (b) 물체의 실제 모습 (c) 가상 물체가 증강될 물체의 SURF 특징점 검출 모습
Fig. 8. Result of modeling for application of augmented reality. (a) Result of 3D modeling. (b) Original object. (c) SURF features in object put virtual object.

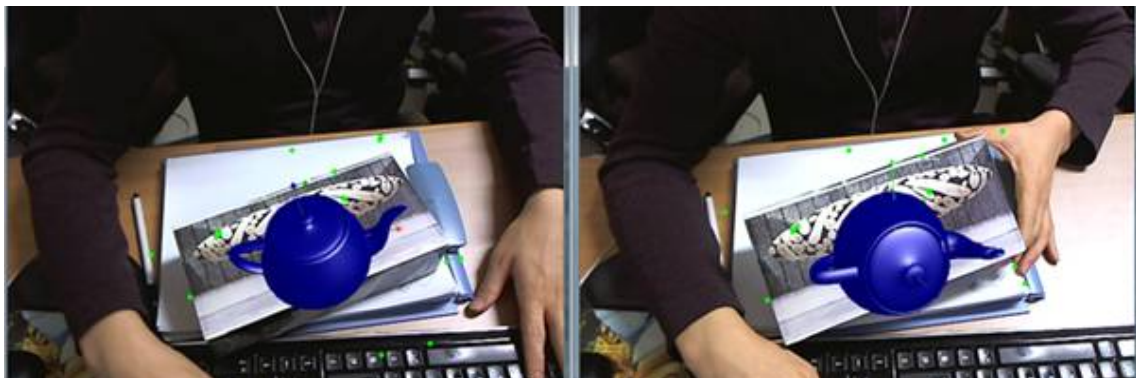


그림 9. 증강 현실 응용 예
Fig. 9. An example of augmented reality application.

측정 센서의 평균 측정 오차가 유효측정거리 이내에서 중저가형의 경우 평균 5~10% 정도이다. 특히 로봇 분야에서 많이 사용하는 Pioneer 로봇의 SICK 레이저 센서의 경우 오차 범위가 평균 15~30mm이다. 그리고 본 실험에서 카메라와 마커와의 거리가 50cm정도이고 위의 실험의 결과에서 나온 최대 오차가 21mm이기 때문에 이는 센서를 사용하는 경우와 비슷하거나 혹은 더 나은 결과라고 할 수 있다. 고가형 혹은 초고밀도 센서 등 0.02mm이내로 정밀한 센서들로 있지만 본 논문에서 일반 다중 사용자를 대상으로 하기 때문에 이러한 센서는 비교하지 않는다.

3. 증강 현실의 응용

다음은 본 논문에서 제안하는 방법을 이용하여 3차원 재구성된 물체를 마커리스 기반 증강 현실에 적용한 실험 결과이다. 그림 8은 제안하는 방법을 이용한 3차원 재구성 결과이다. 그림 8 (a)는 제안하는 방법을 이용하여 모델링된 물체의 3차원 모습이고, 그림 8 (b)는 모델링된 물체의 텍스처를 추출할 때 사용된 프레임이다. 그림 8(c)는 증강 현실을 위하여 SURF 특징점을 추출한 결과이다.

그림 9는 모델링된 물체에 가상 물체가 증강된 모습이다. 3차원으로 모델링된 물체의 텍스처에 SURF 기술자와 3차원 기하학정보를 이용하여 멀티마커로써 활용이 가능함을 보여준다. 그림 9의 결과는 기존 SURF만을 이용한 증강현실과 비슷한 결과를 보인다. 기존의 SURF를 이용한 증강 현실은 인식하고자 하는 물체를 사용자가 촬영한 후 물체를 배경과 분리하여 물체 영역에서 SURF 특징점을 추출하여 DB에 저장하는 과정을 수동적으로 수행한다. 하지만 그림 9의 결과는 본 논문에서 제안하는 방법을 이용하여 추출한 SURF를 이용하였기 때문에 기존 방법에서 수동적으로 했던 과정을 직관적이고 빠르게 수행할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 마커를 이용하여 직관적으로 3차원 재구성을 할 수 있도록 하였다. 특히 인간이 실제 물체의 기하학적인 형태를 인지하는 행동을 그대로 사용함으로써 모델링을 위한 사용자 상호 작용의 학습 시간을 줄일 수 있고, 작업 효율을 배가시킬 수 있게 하였다. 본 논

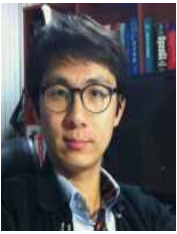
문에서 제안하는 방법을 사용하여 모델링된 물체를 마커리스 기반 증강 현실에 적용하여 본 논문에서 제안하는 방법의 효용성을 보여주었다. 또한 본 논문에서 제안하는 방법은 단순히 기하학적인 정보만 추출하는 것이 아니라 다양한 상호 작용에 의하여 물체의 상세한 특징을 추출할 수 있게 하였다. 사용자가 직접 물체의 3차원 정보를 추출하는 형태이기 때문에 다중 시점 영상을 사용하거나 적외선이나 초음파 센서를 이용하는 기존 3차원 재구성 방법 보다 더 다양한 형태의 물체를 시간적, 시스템 복잡도 측면에 대하여 효율적으로 모델링할 수 있는 방법이라 할 수 있다. 그리고 다양한 제어 팬을 이용하여 물체를 실시간으로 변형을 할 수 있기 때문에 쉽고 빠르게 다양한 콘텐츠 제작이 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법을 사용하여 증강 현실을 위한 모델링뿐만 아니라 게임이나 멀티미디어 조작 등 다양한 HCI의 응용에도 활용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] Luca Vacchetti, Vincent Lepetit, and Pascal Fua, "Combining edge and texture information for real-time accurate 3D camera tracking," Proceedings of the Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 48-57, Nov., 2004.
- [2] Harald Wuest, Florent Vial, and Didier Stricker, "Adaptive Line Tracking with Multiple Hypotheses for Augmented Reality," Proceedings of the Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 62-69, Oct., 2005.
- [3] Mark Pupilli and Andrew Calway, "Real-time Camera Tracking Using a Particle Filter," Proceedings of the British Machine Vision Conference, pp. 519-528, Sept., 2005.
- [4] Gun A. Lee, Claudia Nelles, Mark Billinghurst, and Gerard Jounghyun Kim, "Immersive authoring of tangible augmented reality applications," Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.172-181, Nov., 2004.
- [5] M. Bordegoni and U. Cugini, "Haptic modeling in the conceptual phases of product design," Virtual Reality, Vol. 9, No. 2-3, pp. 192-202, Jan., 2006.
- [6] Pedro Santos, Andre Stork, Alexandre Buaes,

- and Joaquim Jorge, "Innovative Geometric Pose Reconstruction for Marker-based Single Camera Tracking," International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications, pp. 234-244, June, 2006.
- [7] 이정규, 이종원, "모바일 환경 증강현실 콘텐츠 현장 저작 인터페이스", 한국콘텐츠학회논문지, Vol. 10, No. 7, pp. 1-9, 2010.
- [8] David G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," International Journal of Computer Vision, pp. 91-110, Vol. 20, No. 2, Nov., 2004.
- [9] Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, and Luc Van Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features," Proceedings of the ninth European Conference on Computer Vision, pp. 404-417, May, 2006.
- [10] Young Min Kim, Christian Theobalt, James Diebel, Jana Kosecka, Branislav Misusik, and Sebastian Thrun, "Multi-view Image and ToF Sensor Fusion for Dense 3D Reconstruction," IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops, pp. 1542-1549, Oct., 2009.
- [11] Szymon Rusinkiewicz, Olaf Hall-Holt, and Marc Levoy, "Real-time 3D model acquisition," Proceedings of the 29th annual conference on computer graphics and interactive techniques, Vol. 21, No. 3, pp. 438-466, July, 2002.
- [12] Nader Salman and Mariette Yvinec, "High resolution surface reconstruction from overlapping multiple-views," Proceedings of the 25th annual symposium on Computational geometry, pp. 104-405, 2009.
- [13] Adrien Bartoli, Peter Sturm, and Radu Horaud, "Projective Structure and Motion from Two Views of a Piecewise Planar Scene," Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 593-598, July, 2001.
- [14] Carsten Rother, Stefan Carlsson, and Dennis Tell, "Projective Factorization of Planes and Cameras in Multiple Views," International Conference on Pattern Recognition, pp. 737-740, Jan., 2002.
- [15] Richard Hartley and Frederik Schaffalitzky, "PowerFactorization : 3D reconstruction with missing or uncertain data," Proceedings of Australia-Japan Advanced Workshop on Computer Vision, pp. 1-9, 2003.
- [16] Kyungboo Jung, Seungdo Jeong, and Byung-Uk Choi, "Virtual Duplication of Rigid Objects from Image Sequences," Computer Science and Software Engineering, pp. 1166-1169, Dec., 2008.

저 자 소 개



정 경 부(학생회원)
2004년 금오공과대학교
전자공학부 학사 졸업.
2006년 한양대학교 전자통신
컴퓨터공학과 석사 졸업.
2006년~현재 한양대학교
전자컴퓨터통신공학과
박사 과정.

<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 증강현실, 3차원 인
터페이스>



최 병 옥(평생회원)
1973년 한양대학교 전자공학과
학사 졸업
1978년 일본 게이오대학교
전기공학과 석사 졸업
1981년 일본 게이오대학교
전기공학과 박사 졸업

1980년~1981년 일본 KDD 위축 연구원
1981년 3월~1981년 8월 일본 주식회사 리코
축탁 연구원
1981년 9월~현재 한양대학교 컴퓨터공학부
교수

<주관심분야 : 인공지능, 로봇 비전, 증강현실, 이
러닝>



박 종 일(정회원)-교신저자
1987년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업
1989년 서울대학교 전자공학과
석사 졸업
1995년 서울대학교 전자공학과
박사 졸업

1992년~1994년 일본 NHK방송기술연구소
객원연구원

1995년~1996년 한국방송개발원 선임연구원

1996년~1999년 일본 ATR지능영상통신연구소
연구원

1999년~현재 한양대학교 컴퓨터공학부 교수

<주관심분야 : 가상현실, 증강현실, HCI, 3차원
영상처리, 컴퓨터그래픽스/비전>