

# 증강현실에서 몰입감 증대를 위한 물리시뮬레이션의 적용

채창훈\* · 고광희\*\*

## 1. 서 론

증강현실(Augmented Reality)은 실제 환경에서 가상 사물을 결합하여 실제 환경에 존재하는 것처럼 몰입감을 제공하는 컴퓨터 그래픽스의 한 분야이다. 이는, 가상의 공간과 사물만을 다루는 기존의 가상현실과는 달리, 현실세계를 기반으로 하면서 가상의 사물을 합성하기 때문에 가상환경에서 얻을 수 없는 현실세계의 느낌과 현실세계에서 얻기 어려운 부가적인 정보들을 가상환경을 통해서 보강할 수 있다. 따라서 이러한 특징을 바탕으로, 단순히 게임이나 훈련 시뮬레이션과 같은 분야에만 한정된 적용이 가능해왔던 기존 가상현실과는 달리, 게임을 포함해서, 의료, 교육, 방송 등, 보다 다양한 분야로의 응용이 가능하고, 유비쿼터스 컴퓨팅 개념이 구현된 환경 (USS: Ubiquitous Smart Space)에 적합한 기술로 각광을 받고 있다.

지금까지 증강현실에 대한 기술은 관련 하드웨어의 개발과 더불어서 많은 발전을 해왔으나, 증강현실의 중요한 목표중 하나인 몰입감 제공에

있어서는 한계를 보이고 있다. 증강현실 기술이 이러한 한계를 보이는 데에는 다음과 같은 네 가지 이유를 찾아 볼 수 있다.

- 실시간 계산 측면에서의 한계
- 증강현실을 구현하기 위한 마커의 사용으로 인한 제약
- 실제 환경과 증강된 환경과의 자연스러운 상호작용의 부재
- 물리법칙을 고려하지 않은 증강 물체의 움직임

실시간성을 유지하기 위한 계산 능력은 알고리즘 및 하드웨어의 발전에 직접적으로 연관이 되어 있다. 특히, 하드웨어의 비약적인 발전으로 문제가 됐던 부분들을 점차적으로 극복해 가고 있다.

현재 증강현실 기술 수준에서 중요한 요소인 마커의 사용은 증강현실을 보다 쉽고 자연스럽게 사용하기 위한 관점에서 보면 저해 요소로 볼 수 있다. 이는 증강현실을 이용하기 위해서는 마커가 설치되어야 함을 의미하는 것이고, 마커가 실제 환경이 제공하는 자연스러움을 떨어뜨릴 수 있는 가능성이 많다. 또한 마커가 카메라에 잡히지 않으면, 증강된 물체가 사라지는 현상이 증강현실의 효율적인 사용에 문제점으로 대두 되고 있다. 최근, 일부 연구자들이 마커가 없는 증강현실 시스템을 소개하기도 하였다. 실세계의 물체를 마커와

※ 교신저자(Corresponding Author) : 고광희, 주소 : 광주 광역시 북구 오룡동(500-712), 전화 : 062)970-3225, FAX : 062)970-2384, E-mail : khko@gist.ac.kr

\* 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅본부 (E-mail : chchae@kisti.re.kr)

\*\* 광주과학기술원 기전공학과 조교수

같은 트래킹 도구로 사용하여 가상 물체를 증강시키는 방법이 그것이다[1]. 비전 및 이미지 프로세싱 기술의 발전과 더불어 많은 경우에 있어서 좋은 결과를 내지만, 아직까지는 마커 없이 완전한 증강현실을 구현하기에는 추적(Tracking) 속도와 정확도(Accuracy) 등 몇 가지 문제점이 존재한다.

증강현실은 정의 그대로, 실제의 환경에 가상의 객체를 증강시키는 것이다. 그런데, 증강된 물체의 사실도가 실제 환경과 뚜렷하게 차이를 보이고 있어서 현실과 가상의 혼합이라는 측면에서 보면, 몰입감이 떨어지는 단점이 있다. 특히, 증강된 객체와 배경이 되는 실제 환경과는 서로 다른 공간에서 표현되기 때문에, 그러한 차이가 더더욱 심화되게 된다. 따라서 주변의 실제 환경과 증강된 가상의 물체 사이에 자연스러운 상호 작용을 이룰 경우, 사용자는 보다 더 사실감을 느낄 수 있으며, 그 활용도도 높아지게 된다. 이러한 사실적인 환경과의 상호작용의 예로 몇 가지를 들 수 있으며, 그 중, 주변 환경을 고려한 사실적인 렌더링을 생각해 볼 수 있고, 또한, 가상 물체와 주변 실제 물체와의 상호작용도 생각해 볼 수 있다. 그렇지만, 아직 충분한 관련 연구가 진행되어 있지 않다.

물리법칙을 고려하지 않은 증강 물체의 움직임 또한, 증강현실에서 사실감 및 몰입감을 저해하는 요인이다. 증강된 물체는 가상의 공간에서 표현된다. 여기에는 실제 환경에서 작용하는 여러 물리적인 영향이 존재하지 않는다. 그렇기 때문에, 증강물체에 어떠한 움직임을 표현하고자 할 때에는 미리 어떻게 움직일 지에 대해서 정한 다음, 거기에 맞춰서 물체들을 움직이도록 한다. 그렇지만, 이는 사실적인 움직임과 차이가 있기 때문에, 비현실적인 결과를 줄 수 있으며, 결론적으로 증강

현실의 사실감을 떨어뜨리게 된다.

본 논문에서는, 위에 기술한 여러 가지 한계점 중에서 가상 물체의 사실적인 움직임을 표현하는 문제에 한정해서 논의 하고자 한다. 가상 물체의 사실적인 표현은, 가상물체에 실제 현실에서 겪게 되는 여러 물리적인 현상을 적용시키는 것에서부터 시작된다. 증강된 물체에 물리적인 속성을 부여하고, 물체들의 움직임과 상호작용을 물리 법칙에 근거해서 표현 하면, 보다 더 향상된 몰입감이 제공 될 수 있고, 다양한 분야로 응용을 할 수 있을 것이다. 이에 본 논문에서는, 물리 법칙을 적용한 증강현실을 다룬 논문들을 소개하고, 물리 시뮬레이션과 증강현실을 통합하기 위해서 필요한 기술 및 적용 할 때 발생하는 문제점들에 대해서 논의하고자 한다. 또한, 이를 바탕으로 개발된 시스템에 대한 소개뿐만 아니라, 이를 이용한 몇 가지 예제를 소개하고자 한다.

## 2. 관련 연구

물리 시뮬레이션은 자연 속에서 나타나는 다양한 물리적인 현상들을 컴퓨터로 재현하는 방법이다. 이를 통하여 다양한 조건 하에서 나타날 수 있는 물리적인 여러 상황들을 예측할 수 있다. 하지만, 증강현실 분야에서 이러한 물리 시뮬레이션과 관련된 연구들이 많지 않다. 그 이유는 증강현실 기술의 짧은 역사와 물리 시뮬레이션 구현에 관련된 어려움 때문이다. 본 절에서는 물리 시뮬레이션이 적용이 된 증강현실과 엔터테인먼트 분야의 몇 가지 논문에 대해서 검토하고자 한다.

- Synthetic representation of virtual fluid for mixed reality [2]

본 논문에서는 증강현실 환경에서 가상유체의 표현 방법을 제안하였다. 유체의 현실적인 움직임

을 나타내기 위해서 particle기반의 유체 시뮬레이션 방법 중 하나인 Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)가 사용되었다. 또한 논문에서는 유체와 강체와의 상호작용을 고려할 수 있는 방법과 사용자와의 반응에 따라 유체를 조절할 수 있는 방법을 소개하였다. 그림 1은 전체적인 시스템 환경을 보여주며, 그림 2는 제안된 시스템에서 실제 컵과 가상 유체가 상호 작용하는 결과를 보여준다.

• Plausible Physics in Augmented Images [3]

본 논문에서는 정렬되지 않는 이미지들을 이용하여 자동으로 3D 모델을 만들어낸다. 또한 사용자가 현실세계를 나타내는 화면에 가상 물체를 넣어 3D 모델로 만들고 현실세계와 가상 물체간의 plausible한 물리 시뮬레이션을 실시간으로 구현한다. Plausible 한 물리 시뮬레이션을 실시간으로 구현하기 위하여 Guendelman [4]의 방법이 이용 되었다. 그리고 현실세계에 있는 가상 모델

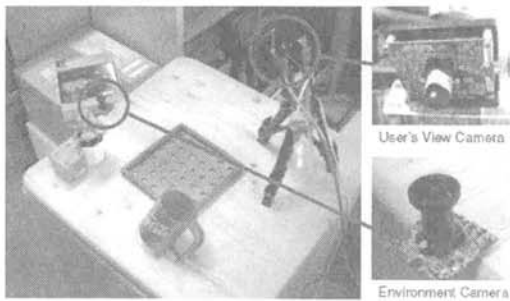


그림 1. 가상 유체 개발 및 테스트 환경



그림 2. 가상 유체와 실제 물체와의 상호작용

을 무한 질량으로 재설정하여 가상 물체와의 상호작용을 나타내었다. 그리고 증강 현실에서 중력에 따른 힘을 시뮬레이션 하기 위하여 사용자는 scale과 orientation 을 설정할 수 있다. 또한 사용자는 가상 물체에 초기 위치와 속력을 설정할 수 있으며, 다양한 속도에 따른 시뮬레이션 결과를 보여줄 수 있다. 그리고 본 시스템은 많은 view point들을 제공한다. 하지만 화면에 들어가는 scene의 양에 따라 시스템의 전체 성능이 좌우되는 단점이 있다.

• AR Pottery: Experiencing Pottery Making in the Augmented Space [5]

본 논문에서는 증강현실 환경에서 사용자로 하여금 가상의 도자기를 만들 수 있는 시스템을 제시하고 있다. 사용자는 손을 직접 이용하지 않고도 가상의 도자기를 marker를 통해 제어함으로써 도자기를 원하는 모양으로 모델링 할 수 있다. 또한 본 시스템은 모델링 과정을 용이하게 하기 위하여 6개의 상호작용 모드를 제공한다. 그리고 occlusion-based interface 를 이용하여 모드를 직관적으로 제어할 수 있다. 그림 4와 같이 본 시스템은 컴퓨터, USB 카메라와 세 개의 marker들로 구성되어 있다.



그림 3. 증강된 가상 물체들의 물리적 시뮬레이션



그림 4. AR pottery system

사용자는 상호작용을 위하여 marker들 간의 collision point와 depth penetration의 양을 측정한다. 그리고 도자기 모델링을 위하여 Free Form Deformation 방법을 사용하였다. 하지만 본 시스템은 철저하게 물리 법칙에 근거한 방법은 아니다. 예를 들어, 이 시스템은 original default, poking, pushing, symmetric pull, symmetric push, stretching mode 등의 미리 설정해 둔 6가지 시나리오 모드만을 제공한다(그림 5). 그리고 도자기 모델은 Free Form Deformation을 이용하기 위하

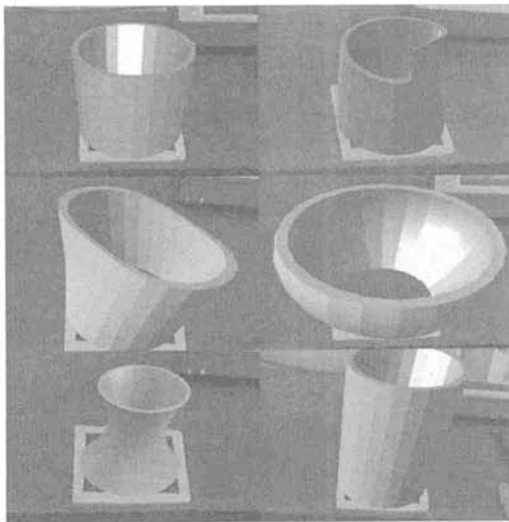


그림 5. 6개의 변환 모드

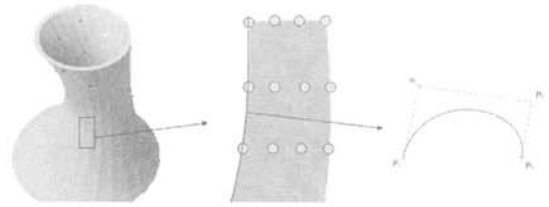


그림 6. 가상 도자기 표현 방법

여 초기에는 cylinder 형태로 나타낸다. 모델은 서로 연결된 4×4 control point를 이용하여 만든 16개의 배지에 곡면들로 이루어져 있다(그림 6). 이 시스템은 직관적이고 사용하기 쉬우나 marker의 가려짐 현상이나 떨림 현상에 영향을 많이 받으며, 물리 시뮬레이션이 아닌 미리 설정해놓은 제한적인 pseudo 시뮬레이션이라고 할 수 있다.

- A High-level Event System for Augmented Reality [6]

본 논문에서는 osgART [7] 와 Open Dynamics Engine (ODE) [8]을 이용하였다. 먼저 마커들의 상호작용뿐만 아니라 가상 물체들 간의 이벤트들까지 포함하는 것을 본 시스템에서 이벤트라 정의한다. 그리고 ODE 물리엔진에 의해 collision 이 실시간으로 검출되어 다양한 이벤트를 제어하며 나타낼 수 있다. 그림 7은 본 시스템이 어떻게 ARToolkit과 렌더링 부분이 결합하는 지를 보여준다. 가상 물체의 움직임은 물리 엔진에 의해 제어된다. 또한 가상 물체는 collision event 와 position event와 같은 상호작용 이벤트를 가지고 있고, 이를 바탕으로 움직임이 결정된다. 여기서 collision event는 물리 엔진의 충돌 검출을 이용하여 충돌 점을 찾는 이벤트이다. 하지만 collision event는 매 시뮬레이션 사이클마다 많은 양의 충돌 점을 찾아야 하는 문제가 있다. 그래서 본 시스템의 ESAR filter는 다음과 같은 단순화 된 이벤트들이 이용하여 성능의 향상을 도모 하였다: Contact(),

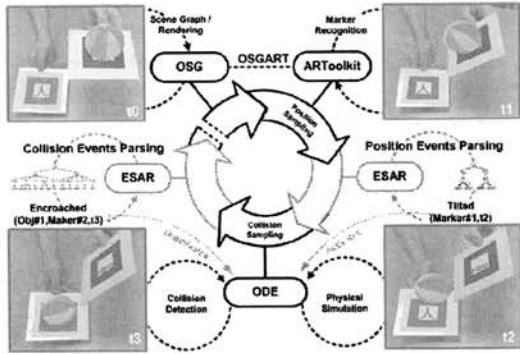


그림 7. ESAR 시스템의 개략도

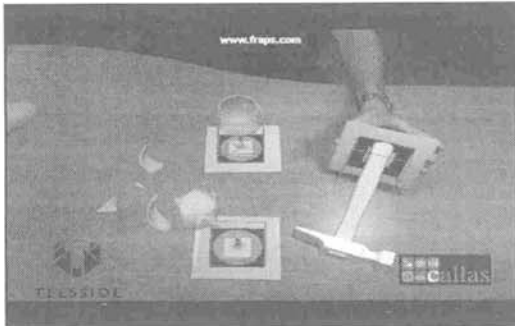


그림 8. 망치로 유리잔을 깨는 시뮬레이션

UnContact(), Move(), UnMove().

그림 8은 본 시스템으로 구현된 예제 화면이다.

- Face to Face Collaborative AR on Mobile Phones

HIT lab NZ의 AR Tennis는 모바일을 이용한 face to face collaborative AR application이다[9]. 이 시스템은 진짜 같은 공의 움직임을 표현하기 위해서 단순화시킨 물리 엔진을 적용 시켰다. 물리 엔진은 공의 튀김과 사용자가 카메라 폰을 이용하여 공을 치는 것을 제어 한다(그림 9). 본 시스템은 모바일 폰을 기반으로 하였으며 ARToolkit library [10]를 사용하였다.

라켓과 공의 충돌을 검사하기 위하여 볼의 위치가 카메라 공간에 대해서 변환 된다. 만약 라켓

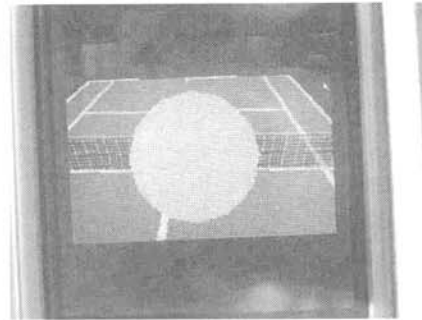


그림 9. 공을 칠 때의 순간

과 공이 서로 반응하면 z축의 방향이 marker 공간으로 변환 되고 시뮬레이션이 수행된다. 공의 방향과 위치 벡터는 Bluetooth 를 이용하여 다른 mobile phone에 보내진다. 또한 매 프레임마다 시뮬레이션 위치가 서로 동기화 된다. 그림 10과 같이 사용자는 서로 마주보며 하나의 marker만을 이용하여 게임을 즐길 수 있다. 본 시스템에서 모바일을 이용한 물리적 조작은 직관적이기 때문에 AR Tennis 게임은 사용자에게 자연스러운 상호작용을 제공한다.

- Interactive AR Bowling System by Vision-Based Tracking

본 논문은 증강현실 환경에서 vision 기반 tracking 방법을 사용하여 interactive한 볼링 시



그림 10. 개발된 시스템의 수행 환경

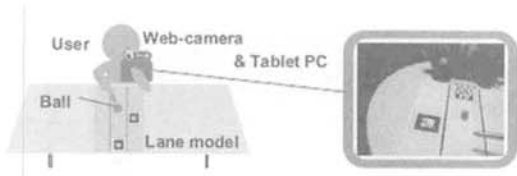


그림 11. AR bowling system

시스템을 제안하였다[11]. 사용자는 현실 세계에서 테이블에 그려진 볼링 레인 위로 진짜 공을 던짐으로써 볼링 게임을 즐길 수 있다(그림 11).

그 레인 위에는 가상의 핀들이 존재한다. Tablet PC 에 부착된 카메라로 캡처된 이미지와 볼링 핀이 겹치게 되어 증강 현실이 구현된다. 진짜 레인과 볼은 실시간으로 vision 기반 tracking 방법에 의해 추적이 된다. 그리고 볼링공과 핀의 충돌을 검출하기 위하여 공과 모든 핀 사이의 거리가 실시간으로 매 프레임 계산된다. 그리고 공과 핀이 충돌하면 핀이 쓰러진다(그림 12). 본 시스템은 실제 물체와 가상 물체와의 상호작용을 제한된 범위 안에서 구현하였다.

• Developing an Augmented Reality Racing Game

본 논문은 현존하는 레이싱 게임을 수정하여 증강 현실 레이싱 게임으로 발전시켰다[12]. 이를 위해서 증강 현실 시스템 구조를 기반으로 XNA game development platform을 사용하였다. 사용된 Goblin XNA AR Racing Game은 시각적으로 트래킹 할 수 있는 physical gameboard와 controller, token 등을 이용한다. 사용자는 미리 세팅이 된 가상의 자동차를 조종하여 정해진 코스를



그림 12. 볼링공이 핀을 넘어뜨리는 순간

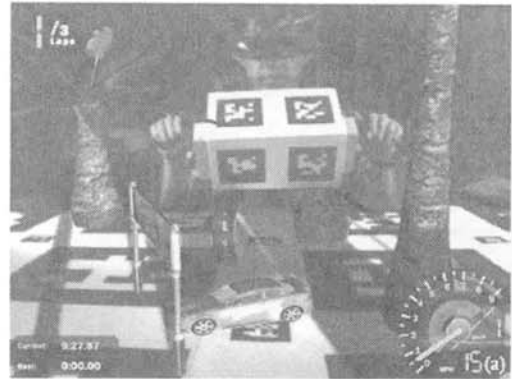


그림 13. Augmented reality racing game

돌아야 하며 장애물을 피하며 게임이 진행된다. 물리적 token들이 부착된 장애물들은 게임 도중에 코스 안에서 자유롭게 재배치할 수 있다. 그림 13은 사용자가 가상 자동차를 제어하며 게임을 즐기는 모습을 보여준다. 자동차와 장애물 사이의 충돌 검출은 대부분 BulletX 라는 3D 물리 엔진이 처리한다. 하지만 삼각 메시의 충돌 검출과 vehicle dynamics를 완벽하게 지원하지 못한다. 모든 충돌 검출은 오직 bounding box approximation 방법을 이용하여 수행한다. 몇 가지 미비점이 있지만, 본 시스템은 사용자가 쉽고 빠르게 레이싱 게임을 즐길 수 있도록 하는 개발 도구를 제공한다.

3. 증강현실과 물리시뮬레이션

본 장에서는 현재 많이 사용되고 있는 증강현실 시스템과, 물리 시뮬레이션을 위한 물리엔진의 통합에 대해서 논의 하고자 한다. 증강현실 개념과 기본적인 기술들은 이미 많은 연구자들에 의해서 정립되어 왔으며, 유용한 toolkit들도 많이 개발되었고 그 성능 또한 발전되고 있다. 또한, 물리시뮬레이션 부분과 그것을 효과적으로 처리하기 위한 물리엔진 분야에서도 소프트웨어와 하드웨어

어 적으로 많은 발전을 이루었다. 본 논문에서는, 새로운 알고리즘이나 방법론의 소개 보다는 어떻게 증강현실 기술과 물리시뮬레이션 기술이 통합이 되는지에 중점을 두고 논의를 전개 하고자 한다. 기본적인 개념은 같은 저자가 발표한[13,14]에 기반을 두고 있으며, 이론적인 측면을 강조해서 소개를 한다.

### 3.1 통합 시스템

전체적인 통합 시스템 구조는 그림 14와 같다. OSG는 OpenSceneGraph의 약자로, 3D 고성능 그래픽스를 위한 toolkit이다[15]. C++와 OpenGL을 사용하고, scene graph를 기반으로 하고 있으며, 다양한 기하 모델을 효율적으로 처리하고, 렌더링을 할 수 있다. OSG는 매우 강력한 기능을 제공하지만, 단지 렌더링 부분만을 담당할 수 있다. ARToolkit은 증강현실을 구현하기 위한 여러 가지 toolkit을 제공한다[10]. ARToolkit은 이미 많이 알려져 있으며, 증강현실을 사용하기 위해서 기본적으로 고려하는 toolkit이다. OSG와 ARToolkit을 통합하여, 기존의 ARToolkit보다 향상된 기능과 성능을 제공하는 osgART도 최근 들어서 많이 사용되고 있다[7]. 본 논문에서도 osgART를 사용해서 증강현실을 위한 각종 기능

들을 구현하였다.

물리 시뮬레이션을 위해서는 먼저 어느 범위 정도의 사실적인 물리적인 속성을 고려할 것인가를 생각해야 한다. 예를 들어 강제운동만을 고려할 지, 변형체를 구현할 지, 아니면, 유체나 기체를 고려할 지 등, 목적하는 물리적 속성에 따라서 그에 맞는 시뮬레이션을 구현해야 한다. 본 논문에서는 강체의 운동만을 우선적으로 고려를 했으며, 이를 위해서, 중력장 안에서 물체의 움직임에 나타내는 운동방정식, 여러 물체가 충돌했을 때, 처리할 수 있는 충돌감지 및 충돌 후 반응, 각 물체에 적용되는 각종 물리적 속성 등을 효과적으로 처리할 수 있는 ODE (Open Dynamics Engine)를 사용하였다. 물리 엔진의 경우, 물체의 물리적 거동만을 표현 하고, 그래픽스적인 처리 및 증강현실 환경과 상호작용을 제공하지 않기 때문에, osgART와 효과적인 접목이 필요하다.

### 3.2 프로세싱 파이프라인

증강현실에서 물리 시뮬레이션을 도입하기 위해서는 다음과 같은 과정이 필요하다: 먼저 video loading을 위하여 USB 카메라를 준비한다. 그리고 ARToolkit [10]을 이용하여 marker가 인식되면 marker의 위치에 가상 물체를 증강시켜야 한다. 이때 가상 물체는 OSG를 이용하여 트리구조로 형성되고 marker의 위치가 tracking 되어 가상 물체가 현실 세계에 정합된다. 여기까지는 대부분의 증강 현실 시스템의 일반적인 과정이다. 하지만 우리는 증강 현실 공간에 물리 시뮬레이션 도입을 위하여 ODE를 이용하며, 다음과 같은 추가적인 고려사항이 필요하다. 이미 OSG를 사용해서 생성한 가상 물체와 동일한 형태와 크기의 가상 물체를 ODE World 공간에서 구성한다. 그리고 ODE와 OSG의 가상 물체의 좌표계를 통합한

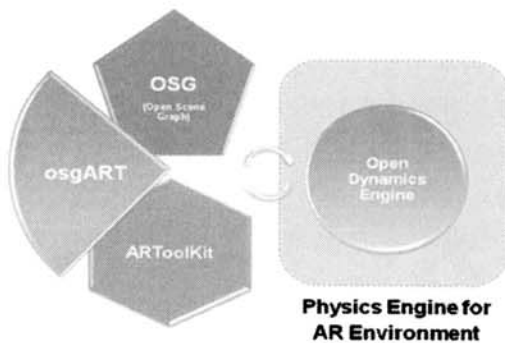


그림 14. 사용된 시스템 구조(13)

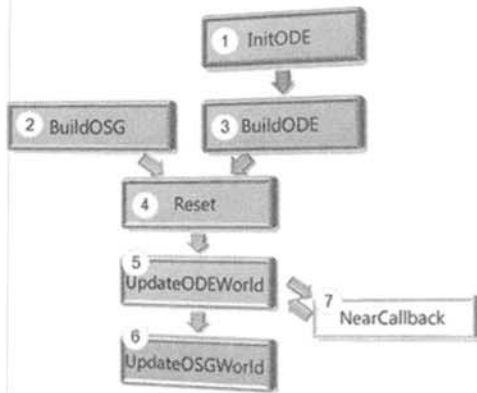


그림 15. 프로세싱 파이프라인 개략도

다. 그리고, 가상 물체의 transformation matrix를 translation vector, scaling factor와 rotation matrix로 분해한 후, 이를 ODE의 가상 물체의 matrix에 적용 한다. 그리고 중력, 탄성력, 마찰력, 무게 등의 물리적 속성 등을 미리 정의한 후, ODE simulator를 한 스텝씩 진행시켜 물체의 운동 방정식 값을 획득한다. 이렇게 얻어낸 가상 물체의 변환 정보는 OSG 가상 물체의 좌표계에 실시간으로 적용되어 가상 물체의 동기화를 이룬다. 위의 프로세싱 과정은 그림 15와 같이 구성할 수 있다.

### 3.3 증강현실 내에서 다중 마커들의 좌표계

증강현실은 실제 환경을 카메라로 입력을 받고 여기에 가상의 물체를 증강시킨다. 이를 위해서 마커를 사용하고, 인식된 마커에 좌표계를 구성하며, 이 좌표계를 바탕으로 가상 물체를 증강시키는 것이다. 이 좌표계는 카메라의 위치(position)와 방향(orientation)과 직접 관련이 있으며, translation과 rotation 변환을 통해서, 가상의 물체를 표현하게 된다. 그림 16은 AR에서 사용되는 좌표계들 간의 관계를 나타낸다. 먼저 T 행렬은 카메라를 통해서 인식된 마커에 만들어진 좌표계

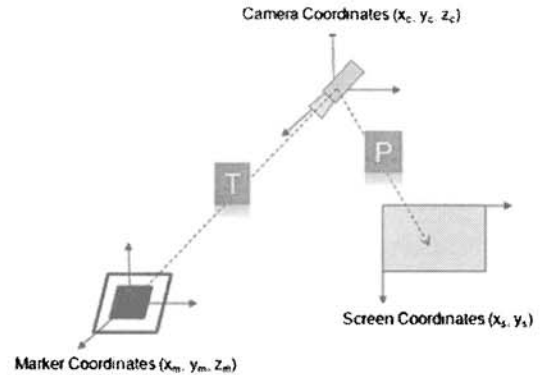


그림 16. 카메라, 마커와 스크린 사이의 좌표관계

와 카메라와의 관계를 나타낸다. 또한, P 행렬은 증강된 가상의 3차원 물체를 2차원 컴퓨터 스크린에 표시하기 위한 projection을 나타낸다. 이 두 변환 행렬들이 올바르게 계산 되어야 인식된 마커 위에 가상 물체가 적절하게 표현되게 된다.

하나의 마커만을 사용할 경우, 좌표계에 대한 별도의 고려는 하지 않아도 된다. 그렇지만 보다 다양한 표현에 제약이 주어지기 때문에, 다중 좌표계를 기반으로 한 다중 마커의 적용이 필요하다.

다중 마커를 사용하게 되었을 경우에도 기본적인 좌표계의 관계는 그림 16과 같다. 그렇지만, 각 인식된 마커마다 상호 독립된 좌표계가 생성이 되고, 그에 따라 서로 독립된 좌표 공간이 생성된다. 따라서 각 마커에 증강 되는 물체들 역시 서로 다른 좌표 공간에 존재하게 된다. 이렇게 마커마다 독립적인 좌표계를 바탕으로 물체가 증강이 되게 되면, 증강된 물체 사이의 적절한 상호작용을 구현하기가 어려워진다. 따라서 각 마커에 종속이 되어 있는 좌표계를 통합해서 하나의 좌표계로 표현하는 것이 필요하다.

그림 17은 두 개의 마커 (Hiro와 Kanji)를 사용했을 때, 카메라와의 상대 위치 관계를 나타낸 것이다. 즉, Hiro마커에 생성된 좌표계는 카메라와 M1의 변환관계를 가지고 있으며, Kanji마커



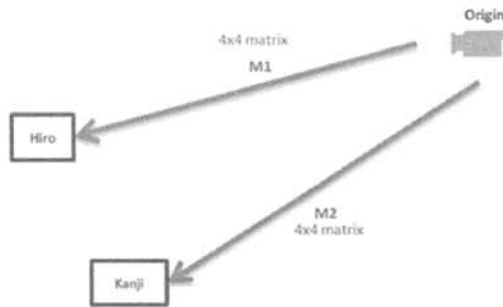


그림 17. 카메라와 두 마커들과의 변환관계

는 M2의 변환관계를 가지고 있다. 이 상태는 OSG의 입장에서 보면 그림 18과 같이 나타나게 된다.

여기서 Hiro마커와 Kanji마커에 만들어진 좌표계를 통합하기 위해서는, 먼저 둘 중 하나를 기본 좌표계로 설정하고, 나머지를 설정된 기본 좌표계로 변환하면 된다. 즉, Hiro마커에 생성된 좌표계를 기본 좌표계로 설정했을 경우,  $T = M1 \cdot M2^{-1}$  변환관계를 Kanji마커에 증강되는 물체에 적용함으로써, 각 마커에 증강되는 물체들을 Hiro마커

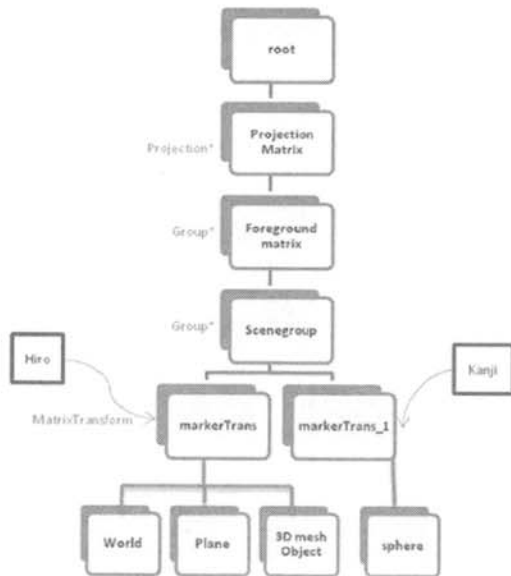


그림 18. OSG노드 구조상에서의 변환 관계

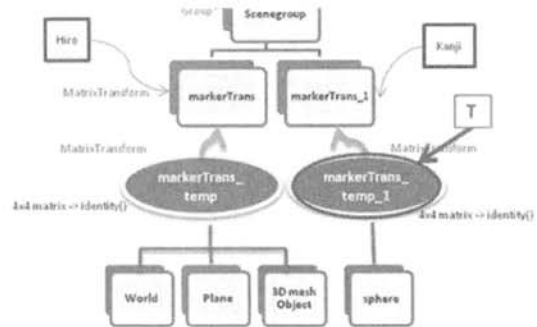


그림 19. 기본 좌표계로 변환을 위한 노드 구조

좌표계에 대해서 표현하게 된다. 이와 같은 변환을 OSG의 구조에서 보면 그림 19와 같다.

다중 마커의 사용과는 별개로 생각해야 할 것이 osgART와 ODE를 사용할 때, 좌표계의 통합이다. AR 공간에서는 각 마커마다 local 좌표계들이 만들어 지며, 앞에서 설명한 방식으로 서로 독립된 공간들을 관련지을 수 있다. 그렇지만, ODE에서 시뮬레이션을 할 때에는, ODE내부에서 정의된 자체의 좌표계를 바탕으로 한다. 또한, osgART와 ODE는 각각 독립적인 객체를 정의해서 수행한다. 이러한 구조적 특성 때문에, 본 시스템에서는 증강 하는 객체를 osgART용으로 정의하고, 동시에 ODE상에서도 정의를 하는 방식을 택했다. 이렇게 정의 된 객체를 ODE상에서 계산하고, 그 결과를 osgART로 전송해서 이 정보를 바탕으로 동기화해서 화면에 결과를 표시하게 된다.

#### 4. 예 제

그림 20은 개발된 시스템을 이용해서 제작된 농구 시뮬레이션 예제이다. 농구 골대는 Hiro마커 위에 증강이 되었고, 농구공은 '人'마커에 증강이 되었으며, '人'마커의 위치를 조절해 가면서 농구공이 던져지는 궤적을 조절하게 된다. 또한, 농구

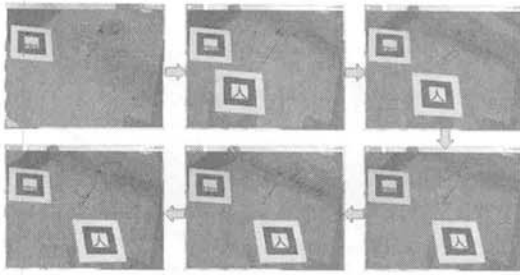


그림 20. 두 개의 마커를 이용한 농구 시뮬레이션

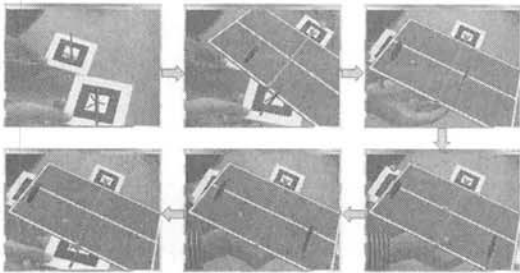


그림 21. 세 개의 마커를 이용한 탁구 시뮬레이션

공과 농구 골대는 서로 상호작용을 하게 된다. 본 예제에서는 Hiro마커에 만들어진 좌표계가 기본 좌표계로 설정이 되었다.

다음 예제로 그림 21에서 보인 바와 같이 탁구 시뮬레이션을 개발하였다. 본 시뮬레이션에서는 마커를 세 개 이용하였다. 하나의 마커로 탁구대와 탁구공을 증강시켰고, 나머지 두 개의 마커를 이용해서 탁구채 두 개를 각각 증강시켰다. 탁구채를 이용해서 탁구공을 치게 되면, 탁구대와 반응을 하게 되고, 또 반대편의 탁구채로 탁구공을 맞추게 되면 이에 반응하게 된다. 여기서, 탁구공은 탁구대와 상호작용할 때, 물리법칙에 의거해서 이루어진다. 이렇게 해서 간단한 탁구 시뮬레이션을 구현할 수 있다.

이 밖에도 그림 22와 같이 두 개의 마커를 이용하여 볼링 시뮬레이션도 개발하였다. 마커의 기울기에 따라서 공의 방향을 제어함으로써 볼링 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 볼링공과 부딪친 볼링

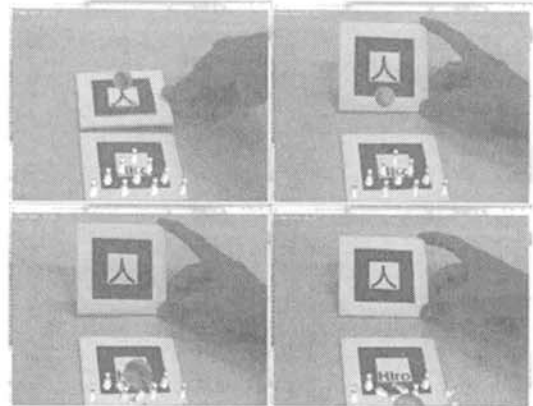


그림 22. 볼링 시뮬레이션

핀은 반응하여 넘어지게 된다. 또한 중력, 무게, 탄성력, 마찰력 등을 다양하게 변화시키며 여러 가지 물리 실험을 수행할 수 있다.

그림 23은 자동차의 선속도와 각속도를 조이스틱을 통하여 제어하면서 다양한 물리적 변화를 주며 장애물과의 충돌 테스트를 수행하는 모습이다.

이처럼 마커뿐만 아니라 조이스틱이나 센서를 이용하여 더욱 다양한 모드의 상호작용을 적용하여 보다 몰입감 있는 물리 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 본 시스템의 실시간성을 알아보기 위해

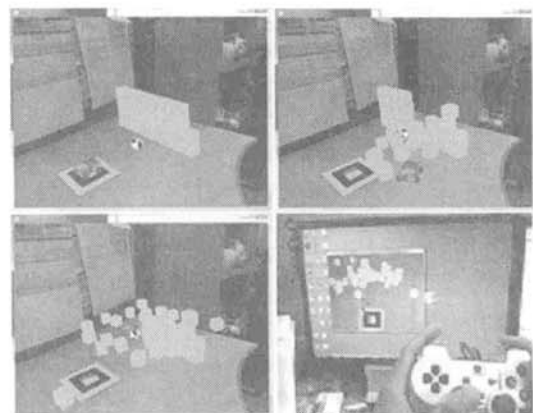


그림 23. 조이스틱을 이용한 자동차 시뮬레이션

여 추가로 그림 24와 같은 실험들을 진행하였고, 표 1의 결과를 보였다. 여기서 FPS는 frame per second를, # of vertices와 # of faces는 모델을 표

표 1. 다양한 모델에 대한 물리 시뮬레이션의 실시간 성능 테스트

Model	# of vertices	# of faces	FPS
Cornell box	72	34	59
Pin	122	120	59
Coke	1668	2800	59
Basketball	4018	7820	59
Cow	7772	7770	59
Table	9372	13652	59
Dump truck	26438	26432	59
Watch	27154	49516	59
Cup	36488	70232	59
Sports car	71982	51128	59
Bike	86736	123649	59
Owl	97961	82418	59
Cessna	10812560	7446	59
Car	98784	188037	45
Tank	135036	123498	45
GIST	7712451	86399	22



그림 24. 실시간성을 위한 예제 실험들. 왼쪽 위부터 cornell box, pin, coke, basketball, cow, table, dump truck, watch, cup, sports car, bike, owl, cessna plane, car, tank, GIST의 모델들을 나타냄.

현하는 데 사용된 메시의 점과 면의 개수들을 나타낸다. 본 표에서 나타난 바와 같이, 본 시스템 상에서 어느 정도 복잡한 물체에 대해서도 실시간적인 처리가 가능함을 알 수 있다. 각 모델의 모습은 그림 24에서 확인할 수 있으며, 각 모델의 복잡도 또한 표 1에 있는 메시의 점과 면의 수를 바탕으로 예측할 수 있다. 증강되는 물체가 메시지를 통해서 표현 될 경우, 그 형상을 정의하는 메시의 개수에 따라서, 전체적인 프로세스의 처리 시간이 영향을 받는데, 위의 테스트를 통해서 보면, 많은 경우에 있어서 메시의 개수가 많아져도, 실시간성을 유지할 수 있는 frame rate가 나오는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 증강 현실 시스템이 가지는 몰입감 증대의 한계점을 해결하기 위하여 가상 물체의 사실적인 움직임을 표현하기 위한 여러 방법들을 소개하고, 관련된 연구결과들을 살펴보았다. 또한 물리 시뮬레이션과 증강현실을 통합하기 위하여 필요한 기술과 발생하는 문제점들에 대하여 논의하였고 이를 바탕으로 개발된 시스템을 소개하고, 어떻게 증강현실과 물리 시뮬레이션이 통합되는가를 알아보았다. 또한 증강현실을 기반으로 한 볼링, 농구, 탁구, 자동차 등의 여러 가지 예제를 통하여 시스템의 효용성을 테스트 하였다.

지금까지 발표 된 연구결과 중에서는 강체가 아닌 유체의 묘사와 같이 비교적 복잡하고 사실적인 결과도 있었다. 하지만 서론에서 논의한 바와 같이 증강현실의 몰입감 증대를 위한 연구들은 여전히 부족하며, 증강현실에 가상 물체의 사실적인 움직임을 부여하기 위한 방법들 또한 충분하지 않았다. 따라서 본 시스템을 더욱 발전시켜 다양한 종류의 가상 물체를 다룰 수 있도록 증강현실

에서 범용적인 물리 엔진의 개발이 필요하며, 증강현실 시스템의 질적, 양적 발전을 위하여 게임을 포함해서, 의료, 교육, 방송 등 보다 다양한 분야로의 응용 연구도 함께 수반되어야 할 것이다. 이와 더불어 가상물체의 움직임뿐만 아니라 현실의 환경을 고려한 사실적인 표현을 위한 실사 렌더링 기법의 도입도 가상현실의 몰입감을 향상시키는 데 기여를 할 것으로 생각되면, 이에 관련된 연구도 향후 수행되어야 할 것으로 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2009-C1090-0902-0008)

### 참고 문헌

- [1] Youngmin Park, Vincent Lepetit and Woontack Woo, "Multiple 3D Object Tracking for Augmented Reality," 7th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008 (ISMAR2008), pp. 117-120, 2008.
- [2] Imura Masataka. et al, "Synthetic Representation of Virtual Fluid for Mixed Reality," Proc. 8th International Conference on Virtual Reality, pp. 135-142, 2006.
- [3] Leotta Matt and Boyle Kristin, "Plausible Physics in Augmented Images," International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ACM SIGGRAPH 2005 Posters, 2005.
- [4] Guendelman Eran, Bridson Robert and Fedkiw Ronald, "Nonconvex rigid bodies with stacking," ACM Trans. Graph. 22, 3, 871-878, 2003.
- [5] Gabjong Han et al, "AR Pottery: Experiencing Pottery Making in the Augmented Space," Lecture Notes on Computer Science (Virtual Reality, HCI 2007), Vol.4563, pp. 642-650, 2007.
- [6] Jean-Luc Lugin, Remi Chaignon and Marc Cavazza, "A High-level Event System for Augmented Reality," In Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2007), 2007.
- [7] J. Looser, R. et al, "OSGART - A Pragmatic Approach to MR," In Industrial Workshop at ISMAR2006, 2006.
- [8] R. Smith, Open Dynamics Engine website: [www.ode.org/](http://www.ode.org/)
- [9] A. Henrysson, M. Billinghurst and M. Ollila, "Face to Face Collaborative AR on Mobile Phones," In proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2005), pp. 80-89, 2005.
- [10] ARToolkit website: [www.hitl.washington.edu/artoolkit/](http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/)
- [11] Yuko Uematsu and Hideo Saito, "Interactive AR Bowling System by Vision-Based Tracking," International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE2007), 2007.
- [12] Ohan Oda et al, "Developing an Augmented Reality Racing Game," INTETAIN 2008, 2008.
- [13] Changhun Chae and Kwanghee Ko, "Introduction of Physics Simulation in Augmented Reality," In Proceedings of International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR2008), pp. 37-40, 2008.
- [14] 채창훈, 윤동호, 고광희, "증강현실 콘텐츠의 몰입감 증대를 위한 효과적인 물리 시뮬레이션의 구현 및 응용", 2008 정보과학회 학술발표논문집, Vol. 35, No. 2(A), pp. 211-212, 2008.
- [15] OpenSceneGraph website: [www.openscenegraph.org/](http://www.openscenegraph.org/)



채 창 훈

- 2007년 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사 졸업 (공학사)
  - 2009년 광주과학기술원 정보기전공학과 석사 졸업 (공학석사)
  - 2009년~현재 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터
  - 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 증강현실, 가상현실
- 
- 



고 광 희

- 1995년 서울대학교 조선해양공학과 졸업 (공학사)
  - 2001년 Massachusetts Institute of Technology, Mechanical Engineering 졸업 (공학석사)
  - 2001년 Massachusetts Institute of Technology, Ocean Engineering 졸업 (공학석사)
  - 2003년 Massachusetts Institute of Technology, 졸업 (공학박사)
  - 2006년~현재 광주과학기술원 기전공학과 조교수
  - 관심분야 : 기하모델링, CAD/CAM, AR, Computer Graphics, 생산자동화
- 
-