(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0169750
(43) 공개일자 2023년12월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/20 (2020.01) *A63B 71/06* (2006.01)
G06F 111/18 (2020.01) *G06F 17/16* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/20 (2020.01)
A63B 71/0622 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0070263
(22) 출원일자 2022년06월09일
심사청구일자 2022년06월09일

(71) 출원인
한발대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
이승호
대전광역시 유성구 엑스포로123번길 26-30 스마트시티리버뷰오피스텔 102동 601호
김홍직
세종특별자치시 다정북로 109, 325동 1301호(가온마을 3단지)
(74) 대리인
이은철, 이우영

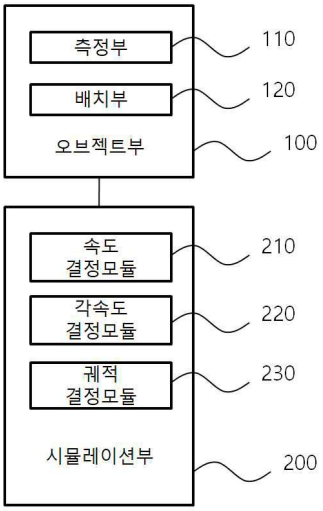
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템에 관한 것으로, 가상의 현실에서 즐길 수 있는 콘텐츠로 사용자 상황에 반응하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템에 관한 것이다. 본 발명에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템은 딥러닝이나 복잡한 학습 없이 가상 당구공의 속도, 각속도, 궤적을 구현하여 사용자 상황에 반응하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템으로서, 가상 당구공의 속도, 각속도, 궤적을 구현하여 사용자의 실내위치를 기반으로 3D 메쉬를 생성하여 가상의 당구대를 위치시킬 수 있어 스크린 기반 가상 스포츠의 장소제약 한계를 극복할 수 있는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06F 17/16 (2013.01)
A63B 2071/0636 (2013.01)
A63B 2243/002 (2013.01)
G06F 2111/18 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711171377
과제번호 2022R1F1A1066371
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 메타버스 컨텐츠에서 사용할 수 있는 음성에 따른 자연스러운 감정 표현이 가능한 3D 얼굴 자동 생성 솔루션 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 한밭대학교
연구기간 2022.06.01 ~ 2025.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345356233
과제번호 2021RIS-004
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 지자체대학협력기반지역혁신사업
연구과제명 (대전세종충남지역혁신플랫폼)충남대학교
기 여 율 1/2
과제수행기관명 (대전세종충남지역혁신플랫폼)충남대학교
연구기간 2022.05.01 ~ 2023.03.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

3D 메쉬 기반의 주변 환경 인식을 통한 당구 오브젝트를 배치하는 오브젝트부(100) 및

상기 당구 오브젝트 상에서 가상 당구공의 속도, 각속도 및 궤적을 구현하는 시뮬레이션부(200)를 포함하며,

상기 시뮬레이션부(200)는

상기 가상 당구공의 속도를 결정하기 위한 물리식을 도출하는 속도 결정모듈(210),

상기 가상 당구공의 속도 및 궤적 변화를 구현하기 위해 각속도를 결정하기 위한 물리식을 도출하는 각속도 결정모듈(220) 및

타 물체와 충돌시 속도 및 각속도에 의한 가상 당구공의 궤적을 구현하기 위해 가상 당구공의 궤적과 관련된 물리식을 도출하는 궤적 결정모듈(230)을 포함하는 것을 특징으로 하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 오브젝트부(100)는

사용자의 주변 환경을 인식하여 3D 메쉬를 측정하는 측정부(110) 및

상기 측정된 3D 메쉬를 통해 가상의 당구 오브젝트를 배치하는 배치부(120)를 포함하는 것을 특징으로 하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 속도 결정모듈(210)은

3차원 공간에서 가상 당구공의 각 운동량을 도출하여 당구공에 작용하는 힘의 성분에 $\overrightarrow{CP}$를 외적하여 xy평면에 작용하는 각운동량의 성분을 계산하고,

x,y축별 가속도 대 속도비로 변환하며, 이를 적분 및 로그변환을 이용해 속도값에 대한 물리식을 도출하는 것을 특징으로 하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 각속도 결정모듈(220)은

가상 당구공 표면 위의 가상 큐대에 의한 임의의 타격 지점 $\overrightarrow{A}=(x,y,z)$의 정보를 이용하여 가상 당구공의 회전 방향 및 속도를 정하고, 가상 당구공의 각속도 결정을 위해 실제와 같은 공의 회전 및 진행 경로를 구현하기 위해 타격 지점을 기반으로 가상 당구공을 회전시키기 위한 각속도와 각가속도를 설정하는 것을 특징으로 하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 궤적 결정모듈(230)은

가상 당구공의 움직임을 구현하기 위해 가상 당구공이 정지했을 때의 위치와 가상 당구대 벽에 부딪혔을 때 프레임에 대한 가상 당구공의 위치를 이용하여 입사벡터를 계산하고,

가상 당구공과 가상 당구대 벽의 면적에서 수직 성분을 이용하여 법선벡터를 계산하며,

상기 입사벡터와 법선벡터를 이용하여 반사벡터를 구하고, 가상 당구공의 움직임 궤적을 구현하는 것을 특징으로 하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 가상의 현실에서 즐길 수 있는 콘텐츠로 사용자 상황에 반응하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 증강현실 콘텐츠 개발을 위해서는 사용자의 몰입감을 높일 수 있는 현실성 있는 물리 시뮬레이션 구현이 필요하다. 이를 위해서 착용하는 트래킹 장비를 통해 사람이나 물체의 움직임을 인식하여 사용자나 물체의 움직임을 실시간으로 물리 시뮬레이션으로 구현하는 방법이 개발되어 있다.

[0003] 하지만, 개인이 사람이나 물체의 움직임을 물리 시뮬레이션으로 구현하기에는 어려움이 있다. 첫째로 트래킹 장비는 물체의 움직임에 대한 높은 정확도를 제공하지만, 장비의 가격이 비싸며 트래킹 하고자 하는 물체를 실제 갖고 있어야 한다는 면에서 비효율적이다. 둘째로 트래킹 장비를 활용하여 당구공과 같은 구 형태의 회전 움직임을 측정하기에는 위해 당구공에 트래킹 장비를 부착하는 것은 실제 당구공의 무게 중심 변화에 의한 속도 및 각속도를 측정하는 데 많은 영향을 끼치며 실제와 비슷한 움직임을 구현함에 있어 방해를 끼치는 문제가 발생한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 공개특허2020-0129319 (2020.11.18)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상술한 문제를 해결하고자 고안한 것으로, 딥러닝이나 복잡한 학습 없이 가상 당구공의 속도, 각속도, 궤적을 구현하여 사용자 상황에 반응하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템을 제공함에 목적이 있다.

[0006] 또한 별도의 트래킹 장비 없이 홀로렌즈와 같은 AR디바이스에 장착된 카메라를 통해 사용자의 실내 위치를 기반으로 3D 메쉬를 생성하여 가상 당구대를 사용자가 원하는 위치에 배치하며, 실제 당구공의 움직임에 대한 물리식을 도출하여 사용자 상황에 반응하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템을 제공함에도 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템은 3D 메쉬 기반의 주변 환경 인식을 통한 당구 오브젝트를 배치하는 오브젝트부(100) 및 상기 당구 오브젝트 상에서 가상 당구공의 속도, 각속도 및 궤적을 구현하는 시뮬레이션부(200)를 포함하며, 상기 시뮬레이션부(200)는 상기 가상 당구공의 속도를 결정하기 위한 물리식을 도출하는 속도 결정모듈(210), 상기 가상 당구공의 속도 및 궤적 변화를 구현하기 위해 각속도를 결정하기 위한 물리식을 도출하는 각속도 결정모듈(220) 및 타 물체와 충돌시 속도 및 각속도에 의한 가상 당구공의 궤적을 구현하기 위해 가상 당구공의 궤적과 관련된 물리식을 도출하는 궤적 결정모듈(230)을 포함한다.

[0008] 오브젝트부(100)는 사용자의 주변 환경을 인식하여 3D 메쉬를 측정하는 측정부(110) 및 상기 측정된 3D 메쉬를 통해 가상의 당구 오브젝트를 배치하는 배치부(120)를 포함한다.

[0009] 속도 결정모듈(210)은 3차원 공간에서 가상 당구공의 각 운동량을 도출하여 당구공에 작용하는 힘의 성분에 $\overrightarrow{CP}$ 를 외적하여 xy평면에 작용하는 각운동량의 성분을 계산하고, x,y축별 가속도 대 속도비로 변환하며, 이를 적분 및 로그변환을 이용해 속도값에 대한 물리식을 도출한다.

[0010] 각속도 결정모듈(220)은 가상 당구공 표면 위의 가상 큐대에 의한 임의의 타격 지점 $\overrightarrow{A}=(x,y,z)$ 의 정보를 이용하여 가상 당구공의 회전 방향 및 속도를 정하고, 가상 당구공의 각속도 결정을 위해 실제와 같은 공의 회전 및 진행 경로를 구현하기 위해 타격 지점을 기반으로 가상 당구공을 회전시키기 위한 각속도와 각가속도를 설정한다.

[0011] 궤적 결정모듈(230)은 가상 당구공의 움직임을 구현하기 위해 가상 당구공이 정지했을 때의 위치와 가상 당구대 벽에 부딪혔을 때 프레임에 대한 가상 당구공의 위치를 이용하여 입사벡터를 계산하고, 가상 당구공과 가상 당구대 벽의 면적에서 수직 성분을 이용하여 법선벡터를 계산하며, 상기 입사벡터와 법선벡터를 이용하여 반사벡터를 구하고, 가상 당구공의 움직임 궤적을 구현한다.

발명의 효과

[0012] 본 발명의 실시 예에 따르면, 딥러닝이나 복잡한 학습 없이 AR 디바이스만으로도 가상 당구공의 속도, 각속도, 궤적을 구현할 수 있는 효과가 있다.

[0013] 또한 가상 당구공의 속도, 각속도, 궤적을 구현하여 사용자의 실내위치를 기반으로 3D 메쉬를 생성하여 가상의 당구대를 위치시킬 수 있어 스크린 기반 가상 스포츠의 장소제약 한계를 극복할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 구현과정과 실행과정을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 가상 당구공 속도 결정을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 당구공에 작용하는 마찰력을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 당구공 각 운동량을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 당구공 움직이는 속도를 표현한 그림이다.

도 7은 가상 당구공의 각속도를 결정하기 위하여 필요한 성분을 표현한 그림이다.

도 8은 입사벡터, 법선벡터, 반사벡터 등을 이용하여 가상 당구공의 움직임 궤적을 구현한 것을 나타내고 있다.

도 9는 가상 흰 공과 가상 빨간 공의 충돌시 궤적을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 공의 회전에 의한 가상 흰 공의 경로 변화의 예시를 나타낸다.

도 11은 가상 당구공의 제어 흐름도를 나타내고 있다.

도 12는 생성한 가상 당구 오브젝트를 나타내고 있다.

도 13은 실제 당구대 평면 이미지를 오버랩한 가상 당구대를 나타내고 있다.

도 14는 물리 시뮬레이션의 실험 절차를 나타낸다.

도 15는 실험에 사용한 8개의 경로 이미지의 예시를 나타낸다.

도 16은 실제 당구공의 경로 영상과 가상 당구공의 경로 영상의 예시를 나타낸다.

도 17은 실제 당구공의 경로와 가상 당구공의 경로에 대한 오버랩 이미지의 예시를 나타낸다.

도 18은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 3D 메쉬 생성을 나타낸 도면이다.

도 19는 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 3D 메쉬 위에 가상 당구 오브젝트 배치를 나타낸 도면이다.

도 20은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 구현 예를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 발명의 실시 예에서 제시되는 특정한 구조 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시 예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 형태로 실시될 수 있다. 또한, 본 명세서에 설명된 실시 예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 되며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경물, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0016] 한편, 본 발명에서 제1 및/또는 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소들과 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0017] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 설명한다. 본 발명의 실시 예를 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 설명을 생략하였다.

[0018] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 구성을 나타낸 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템은 오브젝트부(100), 시뮬레이션부(200)를 포함한다.

[0019] 오브젝트부(100)는 3D 메쉬 기반의 주변 환경 인식을 통한 당구 오브젝트를 배치하기 위한 구성이다. 이러한 오브젝트부(100)는 측정부(110), 배치부(120)를 포함한다.

[0020] 측정부(110)는 사용자의 주변 환경을 인식하여 3D 메쉬를 측정한다.

[0021] 배치부(120)는 측정부(110)를 통해 측정된 3D 메쉬를 통해 가상의 당구 오브젝트를 배치한다.

[0022] 시뮬레이션부(200)는 당구 오브젝트 상에서 가상 당구공의 속도, 각속도 및 궤적을 구현하기 위한 구성이다. 이러한 시뮬레이션부(200)는 속도 결정모듈(210), 각속도 결정모듈(220), 궤적 결정모듈(230)을 포함한다.

[0023] 속도 결정모듈(210)은 가상 당구공의 속도를 결정하기 위한 물리식을 도출하기 위한 구성이다. 이러한 속도 결정모듈은 3차원 공간에서 가상 당구공의 각 운동량을 도출하여 당구공에 작용하는 힘의 성분에 $\overrightarrow{CP}$를 외적하여 xy평면에 작용하는 각운동량의 성분을 계산하고, x,y축별 가속도 대 속도비로 변환하며, 이를 적분 및 로그변환을 이용해 속도값에 대한 물리식을 도출한다.

[0024] 각속도 결정모듈(220)은 가상 당구공의 속도 및 궤적 변화를 구현하기 위해 각속도를 결정하기 위한 물리식을 도출한다. 이러한 각속도 결정모듈(220)은 가상 당구공 표면 위의 가상 큐대에 의한 임의의 타격 지점 $\overrightarrow{A}=(x,y,z)$의 정보를 이용하여 가상 당구공의 회전 방향 및 속도를 정하고, 가상 당구공의 각속도 결정을 위해 실제와 같은 공의 회전 및 진행 경로를 구현하기 위해 타격 지점을 기반으로 가상 당구공을 회전시키기 위한 각속도와 각가속도를 설정한다.

[0025] 궤적 결정모듈(230)은 타 물체와 충돌시 속도 및 각속도에 의한 가상 당구공의 궤적을 구현하기 위해 가상 당구공의 궤적과 관련된 물리식을 도출한다.

[0026] 본 발명의 실시 예에 따른 궤적 결정모듈(230)은 가상 당구공의 움직임을 구현하기 위해 가상 당구공이 정지했

을 때의 위치와 가상 당구대 벽에 부딪혔을 때 프레임에 대한 가상 당구공의 위치를 이용하여 입사벡터를 계산하고, 가상 당구공과 가상 당구대 벽의 면적에서 수직 성분을 이용하여 법선벡터를 계산하며, 상기 입사벡터와 법선벡터를 이용하여 반사벡터를 구하고, 가상 당구공의 움직임 궤적을 구현한다.

[0027] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 구현과정과 실행과정을 나타낸 도면이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 첫 번째로 가상 당구공의 실제와 같은 움직임을 구현하기 위해 가상 당구공의 속도를 결정하기 위한 물리식을 도출한다. 두 번째로 회전에 따른 가상 당구공의 속도 및 궤적 변화를 구현하기 위해 가상 당구공의 각속도를 결정하기 위한 물리식을 도출한다. 세 번째로 다른 물체와 부딪혔을 때 속도 및 각속도에 의한 가상 당구공의 궤적을 구현하기 위해 가상 당구공의 궤적과 관련된 물리식을 도출한다. 이후, 유니티를 통한 가상 당구공의 속도, 각속도, 궤적 물리식에 따른 움직임을 실제와 비교하는 실험을 거쳐 물리 시뮬레이션을 구현한다. 구현한 물리 시뮬레이션은 홀로렌즈 2와 같은 AR 디바이스에 솔루션을 배포하여 포팅한다. 솔루션 실행과 동시에 AR 디바이스에 장착된 카메라를 통해 사용자의 주변 환경을 인식하여 3D 메쉬를 측정하며, 측정된 3D 메쉬를 통해 가상의 당구 오브젝트를 배치한다. 최종으로, 3D 메쉬의 표현을 비활성화 하여 사용자의 가시성을 높인다.

[0028] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 가상 당구공 속도 결정을 설명하기 위한 도면이다. 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 당구공에 작용하는 마찰력을 설명하기 위한 도면이다.

[0029] 도 3에서 m은 당구공의 질량, C는 당구공의 중심, P는 당구공과 당구대가 맞닿는 점, R은 당구공의 반지름, $\overrightarrow{F_s}$는 당구공과 당구대 사이의 마찰력, N은 당구대의 법선벡터, $\overrightarrow{V_0}=(V_{x0},V_{y0},0)$은 초기 속도, $\overrightarrow{w_0}=(w_{x0},w_{y0},w_{z0})$는 초기 각속도이다.

[0030] 현실에서 당구대 위에 위치한 당구공은 도 3과 같이 중력, 작용 반작용 법칙에 의한 당구대 평면의 법선 벡터와 당구대와 당구공 사이의 마찰력 등에 영향을 받는다. 여기서 C는 당구공의 중심, P는 당구공과 당구대가 맞닿는 점, R은 당구공의 반지름, $\overrightarrow{F_s}$는 당구대와 당구공 사이의 마찰력, $\overrightarrow{N}$은 당구대 평면의 법선벡터를 나타낸다. 공이 진행함에 있어 Z축의 방향으로는 진행하지 않기 때문에 초기 속도는 $\overrightarrow{V_0}=(V_{x0},V_{y0},0)$로, 초기 각속도는 $\overrightarrow{w_0}=(w_{x0},w_{y0},w_{z0})$로 설정한다. 이때, 좌표계의 기준은 가상 당구공의 로컬 좌표계를 기준으로 설정한다.

[0031] 외부 충격이 당구공에 가해지게 되면 P에서 슬라이딩 움직임이 발생하게 되고, P에서의 속도 $\overrightarrow{V_p}$는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $\overrightarrow{V}$와 $\overrightarrow{w}$는 공의 중심 C의 속도와 각속도를, $\overrightarrow{CP}$는 C에서 P사이의 벡터를 나타낸다.

[0032] (수학식 1)

[0033] $$\boldsymbol{V_p}=\overrightarrow{\boldsymbol{V}}+\overrightarrow{\boldsymbol{w}}\times\overrightarrow{\boldsymbol{CP}}$$

[0034] 이때, 각 성분의 값은 $\overrightarrow{V}=V_x\hat{i}+V_y\hat{j}$, $\overrightarrow{w}=w_x\hat{i}+w_y\hat{j}+w_z\hat{z}$, $\overrightarrow{CP}=-R\hat{k}$ 등으로 나타낼 수 있다. 각 성분을 계산하여 식 (1)은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

[0035] (수학식 2)

[0036] $$\boldsymbol{V_p}=(\boldsymbol{V_x}-\boldsymbol{Rw_y})\hat{\boldsymbol{i}}+(\boldsymbol{V_y}+\boldsymbol{Rw_x})\hat{\boldsymbol{j}}$$

[0037] 공이 움직이면서 마찰력 $\overrightarrow{F_s}$가 발생하고 $\mu_k\overrightarrow{N}$로 표현할 수 있다. 이 마찰력은 움직임의 반대 방향으로 작용하므로 $\overrightarrow{V_p}$의 유닛벡터를 적용하여 도 4와 같이 표현이 가능하며, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있고 식 (4), (5)와 같이 각 성분별로 나타낼 수 있다.

[0038] (수학식 3)

$$\overrightarrow{F_s} = -\frac{\overrightarrow{V_p}}{|\overrightarrow{V_p}|}(\mu_k \overrightarrow{N})$$

[0039]

[0040] (수학식 4)

$$F_{sx} = -\mu_k \frac{\overrightarrow{N}}{|\overrightarrow{V_p}|}(V_x - Rw_y)$$

[0041]

[0042] (수학식 5)

$$F_{sy} = -\mu_k \frac{\overrightarrow{N}}{|\overrightarrow{V_p}|}(V_y + Rw_x)$$

[0043]

[0044] 또한, 식 (4), (5)와 뉴턴의 제 2법칙에 의해 아래의 식 (6)로 나타낼 수 있다. 여기서 m은 당구공의 질량을, a는 각 성분별 가속도를 나타낸다.

[0045] (수학식 6)

$$F_{sx} = ma_x,\ F_{sy} = ma_y,\ N - mg = ma_z = 0$$

[0046]

[0047] 당구공에 오일러 운동 방정식을 적용하게 되면 3차원 공간에서의 각운동량을 도출할 수 있다. 이때, 앞서 가정했던 xyz 좌표계에서의 관성모멘트가 모두 같다는 전제하에 도 5와 같이 표현이 가능하며, 식 (7)과 같이 성분별로 각운동량을 나타낼 수 있다. 여기서, I는 관성모멘트를, α는 각가속도를 나타낸다.

[0048] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 당구공 각 운동량을 설명하기 위한 도면이다.

[0049] (수학식 7)

$$L_x = I\alpha_x,\ \ L_y = I\alpha_y,\ \ L_z = I\alpha_z$$

[0050]

[0051] 반면, 각운동량은 식 (8)과 같이 xyz 평면에 위치한 당구공에 작용하는 힘의 성분에 $\overrightarrow{CP}$를 외적하여 xy평면에 작용하는 각운동량의 성분을 계산할 수 있으며 식 (6), (7)을 이용하여 성분별 각운동량을 나타낼 수 있다.

[0052] (수학식 8)

$$\overrightarrow{L} = \overrightarrow{CP} \times (F_{sx}\hat{i} + F_{sy}\hat{j} + N\hat{k})$$

[0053]

[0054] (수학식 9)

$$-RF_{sx} = I\alpha_y,\ \ RF_{sy} = I\alpha_x,\ \ L_z = 0$$

[0055]

[0056] 식 (9)을 시간 t에 대해 적분하여 가속도의 값을 속도 값으로 변환하고, 슬라이딩 움직임이 0인 $\overrightarrow{V_p} = 0$ 시점에서 식 (2)을 이용하여 V_x는 Rw_y, V_y는 $-Rw_x$로 나타낼 수 있으므로 위의 식으로 다음 식 (10), (11)로 나타낼 수 있다.

[0057] (수학식 10)

$$Rm(V_y - V_{y0}) = I(-\frac{V_y}{R} - V_{x0})$$

[0058]

[0059] (수학식 11)

$$-Rm(V_x - V_{x0}) = I(-\frac{V_x}{R} - V_{y0})$$

[0060]

[0061] 위의 식을 V_x와 V_y에 대하여 정리하고 구체의 관성모멘트인 $I = \frac{2}{5}mR^2$ 으로 최종 V_x와 V_y를 식 (12), (13)과 같이 나타낼 수 있다.

[0062] (수학식 12)

$$V_x = \frac{5}{7}V_{x0} + \frac{2}{7}Rw_{y0}$$

[0063]

[0064] (수학식 13)

$$V_y = \frac{5}{7}V_{y0} - \frac{2}{7}Rw_{x0}$$

[0065]

[0066] 식 (12), (13)을 통해 도출된 V_x, V_y는 마찰력 F_s와 마찰계수 μ_k에 영향을 받지 않는 것을 알 수 있으며, 이러한 내용을 토대로 V_x, V_y를 시간 변화에 따른 식으로 변환하여 시뮬레이션에 적용할 수 있다. 이에 대해, 식 (2)을 미분하여 식 (4), (5), (6), (7)을 대입하면 식(14), (15)와 같이 표현이 가능하다.

[0067] (수학식 14)

$$V'_{px} = -\frac{7}{2}\frac{\mu_k g}{|\overrightarrow{V_p RIGHT}|(V_x - Rw_y)}$$

[0068]

[0069] (수학식 15)

$$V'_{py} = -\frac{7}{2}\frac{\mu_k g}{|\overrightarrow{V_p RIGHT}|(V_y - Rw_x)}$$

[0070]

[0071] 식 (14), (15)는 x, y축에 대한 가속도비와 속도비로 나타낼 수 있으며, 이는 축 별 가속도 대 속도비로 변환하여 아래 식 (16)으로 같이 표현할 수 있고 이를 적분 및 로그변환을 이용해 식(17)과 같이 정리할 수 있다.

[0072] (수학식 16)

$$\frac{V'_{px}}{V'_{py}} = \frac{V_{px}}{V_{py}} \Rightarrow \frac{\Delta V_{px}}{V_{px}} = \frac{\Delta V_{py}}{V_{py}}$$

[0073]

[0074] (수학식 17)

$$V_{px} = V_{py} \times e^{C_1}, (C_1 = constant)$$
$$If\ C_2 = e^{C_1},\ C_2 = \frac{V_{px}}{V_{py}}$$

[0075]

[0076] 위의 식을 통해, 미끄러지는 방향과 마찰력의 방향은 변하지 않는 것을 알 수 있으며, 충돌 후의 가상 당구공의 방향은 미끄러짐 단계가 끝날 때 까지 포물선 경로를 유지하는 것을 알 수 있다. 따라서 식 (4), (5)를 아래 식 (18), (19)과 같이 나타내면 성분별 가속도 역시 상수 값임을 알 수 있다.

[0077] (수학식 18)

$$a_x = -\mu_k g \frac{C_2}{\sqrt{1+{C_2}^2}}$$

[0078]

[0079] (수학식 19)

$$a_y = -\mu_k g \frac{1}{\sqrt{1+{C_2}^2}}$$

[0080]

[0081] 마지막으로, 식 (18), (19)을 적분하여 속도에 대한 식으로 변환하고 $t = 0$인 상태의 초기값을 대입하여 속도 값에 대한 물리식 (20), (21)을 도출할 수 있다. 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 당구공 움직이는 속도를 표현한 그림이다.

[0082] (수학식 20)

$$V_x = -\mu_k g \frac{C_2}{\sqrt{1+{C_2}^2}} t + V_{x0}$$

[0083]

[0084] (수학식 21)

$$V_y = -\mu_k g \frac{1}{\sqrt{1+{C_2}^2}} t + V_{y0}$$

[0085]

[0086] 본 발명의 실시 예에 따른 각속도 결정모듈(220)에 대한 설명을 하기로 한다.

[0087] 가상 당구공의 각속도 결정을 위해 실제와 같은 공의 회전 및 진행 경로를 구현하기 위해 타격 지점을 기반으로 가상 당구공을 회전시키기 위한 각속도와 각가속도를 설정해야 한다. 그러므로 가상 당구공 표면 위의 가상 큐대에 의한 임의의 타격 지점 $\overrightarrow{A} = (x, y, z)$의 정보를 이용하여 가상 당구공의 회전 방향 및 속도를 정할 필요가 있다. 도 7은 가상 당구공의 각속도를 결정하기 위하여 필요한 성분을 표현한 그림이다.

[0088] 도 7은 가상 당구공의 각속도 결정을 위한 예시를 나타낸다. 임의의 타격지점에 대한 좌표별 각도 α, β, γ를 나타낸다. 이때, 타격지점의 좌표값은 가상 큐대와 가상 당구공의 바라보는 방향이 항상 같기 때문에 로컬 좌표계를 기준으로 측정한다. 해당 좌표별 각도는 식 (21)로 구할 수 있다. 여기서 θ는 구하고자 하는 축의 각도를, $\vec{a}$는 가상 당구공의 중점으로부터 타격지점 A까지의 벡터를, $\vec{b}$는 구하고자 하는 축의 벡터를 나타낸다.

[0089] (수학식 22)

$$\theta = cos^{-1}\frac{\vec{a}\cdot\vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|}$$

[0090]

[0091] 구해진 각도를 통해 $\overrightarrow{A}$의 단위 벡터를 식 (22) 같이 방향 코사인 벡터로 나타낼 수 있으며, 각도 정보를 바탕으로 어느 각도로 진행하는 벡터인지의 정보를 알 수 있다.

[0092] (수학식 23)

$$\hat{A} = (cos\alpha, cos\beta, cos\gamma)$$

[0093]

[0094] 이러한 방향 코사인 벡터를 이용하여 가상 당구공의 각속도 w_x와 w_y를 구할 수 있다. w_z의 값은 충돌 후, V_z의 값이 주어지지 않기 때문에, $\overrightarrow{w_x}$와 $\overrightarrow{w_y}$를 외적한 값으로 구할 수 있다.

[0095] (수학식 24)

$$\vec{w} = \begin{cases} w_x = \frac{V_x}{|\vec{A}|}cos\alpha \\ w_y = \frac{V_y}{|\vec{A}|}cos\beta \\ w_z = w_x \times w_y \end{cases}$$

[0096]

[0097] 본 발명의 실시 예에 따른 궤적 결정모듈(230)에 대한 설명을 하기로 한다.

[0098] 실제 당구공과 비슷한 움직임을 구현하기 위해 입사벡터, 법선벡터, 반사벡터 등을 이용하여 가상 당구공의 움직임 궤적을 구현한다. 가상 당구공이 정지했을 때의 위치와 가상 당구대 벽에 부딪혔을 때 프레임에 대한 가상 당구공의 위치를 이용하여 식 (25)와 같이 입사벡터를 계산한다. 여기서 $\vec{I}$는 입사벡터를, A'은 가상 당구공의 나중 위치 좌표 (x_1, y_1, z_1)을, A는 가상 당구공이 움직이기 전의 위치 좌표 (x_0, y_0, z_0)을 나타낸다.

[0099] (수학식 25)

$$\vec{I} = B(x_1, y_1, z_1) - C(x_0, y_0, z_0)$$

[0100]

[0101] 가상 당구공과 가상 당구대 벽의 면적에서 수직 성분을 이용하여 식 (26)와 같이 법선벡터를 계산한다. 여기서 $\vec{N}$은 법선벡터를, $\overrightarrow{PO}$와 $\overrightarrow{QO}$는 오브젝트의 면적을 지나는 임의의 벡터를 나타낸다.

[0102] (수학식 26)

$$\vec{N} = \overrightarrow{PO} \times \overrightarrow{PQ}$$

[0103]

[0104] 입사벡터와 법선벡터를 이용하여 식 (27)과 같이 반사벡터를 구한다. 여기서 $\vec{R}$은 반사 벡터를 나타낸다.

[0105] (수학식 27)

[0106] $$\vec{R} = \vec{I} + 2\vec{N}$$

[0107] 도 8은 입사벡터, 법선벡터, 반사벡터 등을 이용하여 가상 당구공의 움직임 궤적을 구현한 것을 나타내고 있다.

[0108] 가상 당구공끼리 부딪혀, 진행 방향에 대한 두 공의 충돌 후 벡터를 구하기 위해서는 가상 당구공이 부딪힌 순간의 부딪힌 면적을 구한 후에, 식 (22)를 이용하여 각도와 충돌 후 벡터를 구할 수 있다. 도 9는 가상 흰 공과 가상 빨간 공의 충돌 시의 반사 각도를 산출하여 가상 빨간 공의 궤적을 구현한 예를 나타내고 있다. 여기서 $\vec{a}$는 가상 흰 공의 진행 방향 벡터를, $\vec{b}$는 가상 빨간 공의 진행 벡터를, θ는 $\vec{a}$벡터와 $\vec{b}$벡터 사이의 각도를, $\vec{a'}$는 가상 흰 공이 충돌 후의 움직일 방향의 벡터를 나타낸다.

[0109] 도 9는 가상 흰 공과 가상 빨간 공의 충돌시 궤적을 설명하기 위한 도면이다. 도 9에 도시된 바와 같이, 가상 흰 공은 가상 큐대에 의한 각속도 값을 갖고 움직임을 진행하고, 당구대와의 마찰에 의해 경로가 휘게 된다. 도 10은 공의 회전에 의한 가상 흰 공의 경로 변화의 예시를 나타낸다.

[0110] 가상 빨간 공의 부딪히기 전 가상 흰 공은 운동량과 운동 에너지를 가지며, 슬라이딩 움직임 없이 공이 구르기 때문에, 충돌 직후의 값을 식 (28), (29)와 같이 나타낼 수 있다.

[0111] (수학식 28)

[0112] $$V_{x0} = |\vec{V}|sin\theta cos\theta, V_{y0} = |\vec{V}|sin^2\theta$$

[0113] (수학식 29)

[0114] $$w_{x0} = -\frac{V_x}{R}, w_{y0} = w_{z0} = 0$$

[0115] 위의 도출된 값을 식 (12), (13)에 대입하여 V_x와 V_y의 역탄젠트 값을 구하면 θ_c를 구할 수 있다. 따라서 가상 흰 공과 가상 빨간 공 사이의 각도는 $\theta_c + \theta$로 나타낼 수 있다. 가상 당구공과 가상 당구대 사이의 마찰이 없다면, 가상 흰 공은 직선으로 움직일 것이고 탄성 충돌 방정식이 충돌 직후 가상 흰 공의 경로를 구하기 위해 사용될 것이다. 따라서 θ_c는 다음과 같이 표현이 가능하다.

[0116] (수학식 30)

[0117] $$\theta_c = \frac{\pi}{2} - \theta$$

[0118] 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 가상 당구공의 제어 흐름도를 나타낸다. 먼저 사용자가 가상 흰 공의 타격 지점을 선택한다. 선택한 타격 지점에 따른 가상 흰 공의 속도와 각속도를 결정한다. 결정된 속도와 각속도에 의해 가상 흰 공의 움직임이 제어된다. 다른 가상 당구 오브젝트들과 충돌 후, 오브젝트의 특성에 따라 경로를 계산한다. 계산된 경로에 따라 가상 흰 공을 제어한다.

[0119] 도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 실험을 위해 생성한 가상 당구 오브젝트들을 나타낸다.

[0120] 이후, 도 13과 같이 실제 당구장에서 촬영한 당구대 평면 이미지를 가상 당구대에 오버랩하여 실제와 동일한 위치에 가상 당구공을 위치시킨다. 실제 타격 위치와 동일한 가상 당구공의 표면을 타격하여 가상 당구공의 움직임을 제어한다. 실제 당구공의 경로와 일치하는 정도를 계산하기 위해 가상 당구공의 움직임 영상을 녹화한다.

[0121] 도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 물리 시뮬레이션 실험 결과를 도출하기 위한 실험 절차를 나타낸다. 도 14와 같은 과정을 통해 실제 당구공의 경로와 가상 당구공의 경로를 비교하여 경로의 일치도(정확도)를 평가할 수 있

다.

[0122] 도 15는 본 발명의 실시 예에 따른 물리 시뮬레이션 실험 결과를 도출하기 위해 사용된 8개의 경로 이미지 예시를 나타낸다. 실제에서 모든 위치에서 당구공의 경로 영상을 촬영하고 비교하는 것은 불가능하기 때문에, 흔히 발생하는 8가지 경로의 영상을 사용하여 실험 결과를 도출한다.

[0123] 도 16은 본 발명의 실시 예에 따른 실제 당구공의 경로 영상과 가상 당구공의 경로 영상의 예시를 나타낸다.

[0124] 이때, Unity 게임 엔진을 이용하여 실제 당구공과 동일한 위치에 가상 당구공을 위치시킨다. 실제 당구공의 타격 지점에 따른 경로를 비교하기 위해 실제 타격지점과 동일한 가상 당구공 표면에 힘을 가하여 가상 당구공의 움직임을 제어한다.

[0125] 또한, 실제 당구공의 경로와 가상 당구공의 경로 추적을 위해 촬영한 영상들을 색상, 채도, 명도(HSV) 채널 영상으로 변환하여 흰색 영역의 당구공을 추적하여 당구공의 경로 이미지를 저장한다. 실제 당구공의 움직임과 일치도(정확도)를 산출하기 위해 실제 당구공의 경로 이미지와 가상 당구공의 경로 이미지가 일치하는 픽셀을 이미지 전체 크기로 나누어 일치도(정확도)를 산출하였다. 도 17은 본 발명의 실시 예에 따른 실제 당구공의 경로 영상과 가상 당구공의 경로 영상의 예시를 나타낸다.

[0126] 아래의 [표 1]은 실제 당구공의 경로와 가상 당구공 경로의 정확도를 나타낸 것으로, 본 발명의 실시 예에 따른 8종류의 경로에 대한 실제 당구공의 경로와 가상 당구공의 경로 정확도를 산출한 결과를 나타낸다.

[0127] [표 1]

#.경로 번호	정확도(%)
#1	98.53
#2	97.75
#3	98.5
#4	98.93
#5	98.29
#6	98.25
#7	98.39
#8	99.11
mean	98.47

[0128]

[0129] 상기 [표 1]과 같이 실제 당구공의 경로 영상과 가상 당구공의 경로 영상을 비교하여 일치하는 정도를 계산한다. [표 1]에서 나타난 바와 같이 본 발명의 실시 예에 따른 물리 시뮬레이션이 8종류의 경로를 대상으로 평균 정확도 98.47%의 결과를 나타낸다.

[0130] 따라서, 당구공의 특성상 타점이 약간만 벗어나도 전혀 다른 경로의 움직임을 보인다는 점을 고려한다면 본 발명의 실시 예에 따른 물리 시뮬레이션은 AR 스포츠 콘텐츠에 적용 가능함을 확인할 수 있다.

[0131] 한편, 본 발명의 실시 예에 따른 물리 시뮬레이션의 객관적인 신뢰도를 평가하기 위해 2020년에 강승우 외 1명이 발표한 "AR을 이용한 당구 학습 시스템"과 비교한다.

[0132] 아래의 [표 2]는 본 발명의 실시 예에 따른 물리 시뮬레이션과 다른 논문에 대한 정확도의 비교 결과를 나타낸다.

[0133] [표 2]

#.경로 번호	정확도(%)
“AR을 이용한 당구 학습 시스템”	60
본 발명에서 제안하는 물리 시뮬레이션	98.47

[0134]

[0135] 즉, 상기 [표 2]에서 나타난 바와 같이 본 발명의 실시 예에 따른 물리 시뮬레이션의 결과가 다른 논문의 결과에 비해 높은 정확도를 나타낸다. 강승우 외 1명이 발표한 "AR을 이용한 당구 학습 시스템"은 당구공의 정중앙만을 타격 지점으로 고려할 뿐 다른 타격 지점을 고려하지 않아 가상 당구공의 경로에 대한 정확도가 떨어진다.

[0136] 그러나, 본 발명의 실시 예에 따른 물리 시뮬레이션은 정중앙 뿐만 아니라 다른 타격 지점도 고려한 물리식을 도출함으로써 다른 논문의 결과보다 우수한 정확도를 나타낸다.

[0137] 도 18은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 3D 메쉬 생성을 나타낸 도면이다. 최종적으로, Unity를 이용하여 홀로렌즈 2와 같은 AR 디바이스에 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 솔루션을 배포한다. 배포된 솔루션은 사용자가 위치한 주변의 환경을 실시간으로 인식하여 도 18과 같이 3D 메쉬를 생성한다. 생성한 3D 메쉬는 가상의 당구 오브젝트들을 위치시키기 위한 3D 맵 정보로 사용된다.

[0138] 도 19는 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 3D 메쉬 위에 가상 당구 오브젝트 배치를 나타낸 도면이다.

[0139] 이후, 도 19와 같이 사용자가 원하는 위치에 가상 3D 당구대를 위치시키고 사용자 기준 오른쪽에 보이는 메뉴들을 클릭하여 가상 흰 공 및 가상 빨간 공을 생성한다.

[0140] 도 20은 본 발명의 실시 예에 따른 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템의 구현 예를 나타낸 도면이다. 도 20에 도시된 바와 같이, 유니티를 통해 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 솔루션을 AR 디바이스에 포팅한 최종 결과를 나타낸다. 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템은 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 솔루션을 AR 디바이스에 포팅한다. 최종으로, 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 시스템은 메쉬 표현을 비활성화하여 사용자 주변 배경 및 당구 오브젝트의 가시성을 높인다.

[0141] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시 예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 당업자에게 명백할 것이다.

부호의 설명

[0142] 100 : 오브젝트부

110 : 측정부

120 : 배치부

200 : 시뮬레이션부

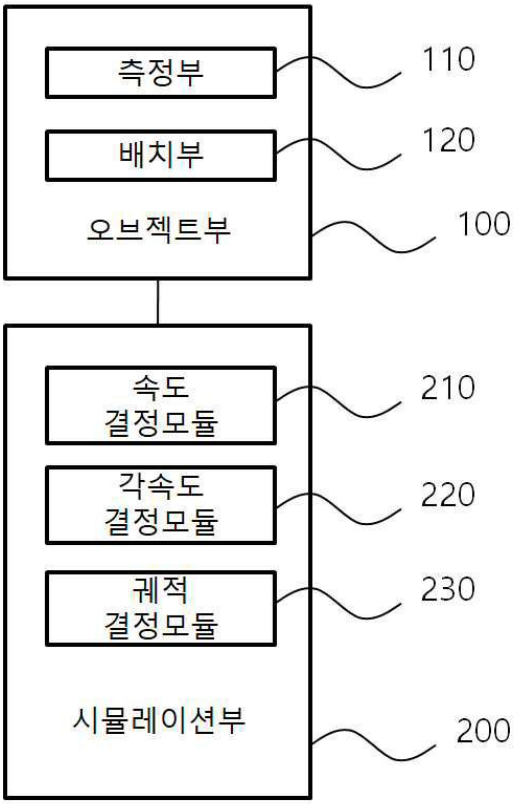
210 : 속도 결정모듈

220 : 각속도 결정모듈

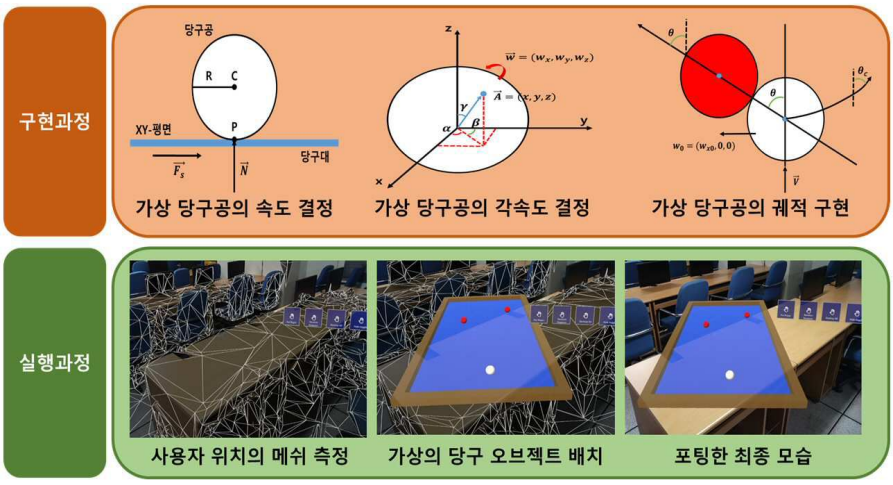
230 : 궤적 결정모듈

도면

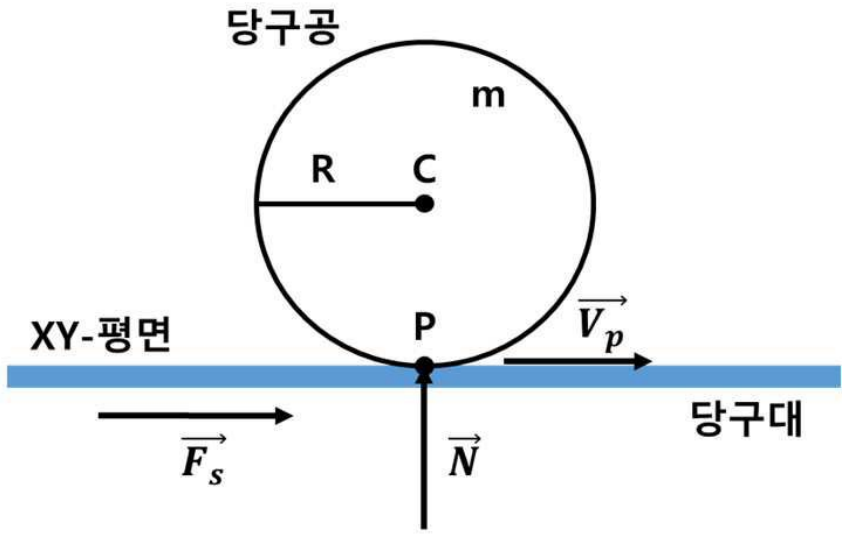
도면1


측정부
110
배치부
120
오브젝트부
100
속도
결정모듈
210
각속도
결정모듈
220
궤적
결정모듈
230
시뮬레이션부
200

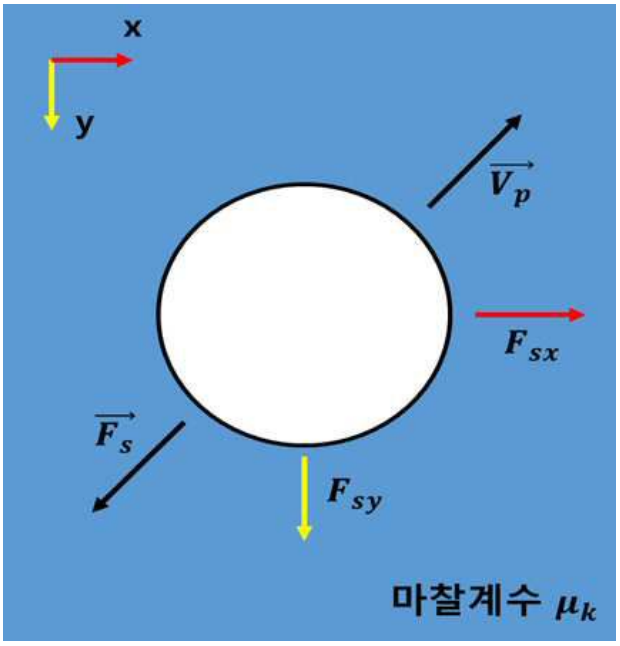
도면2


구현과정
당구공
R
C
P
XY-평면
당구대
가상 당구공의 속도 결정
가상 당구공의 각속도 결정
가상 당구공의 궤적 구현
실행과정
사용자 위치의 메쉬 측정
가상의 당구 오브젝트 배치
포팅한 최종 모습

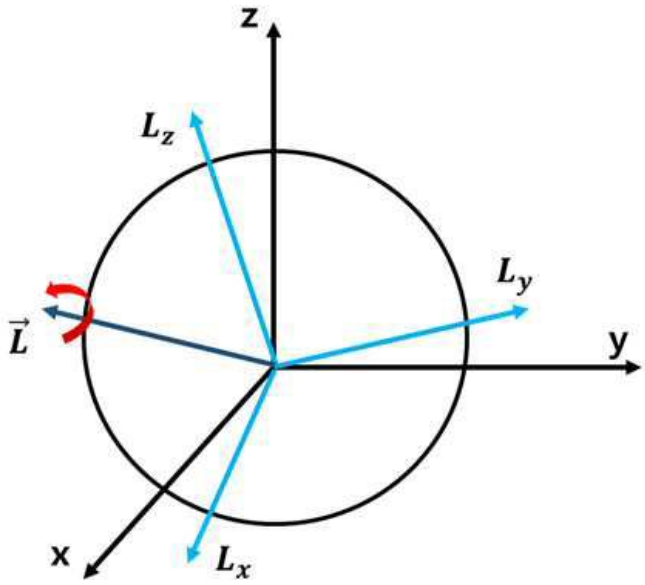
도면3


당구공
m
R
C
P
XY-평면
$\overrightarrow{V_p}$
당구대
$\overrightarrow{F_s}$
$\overrightarrow{N}$

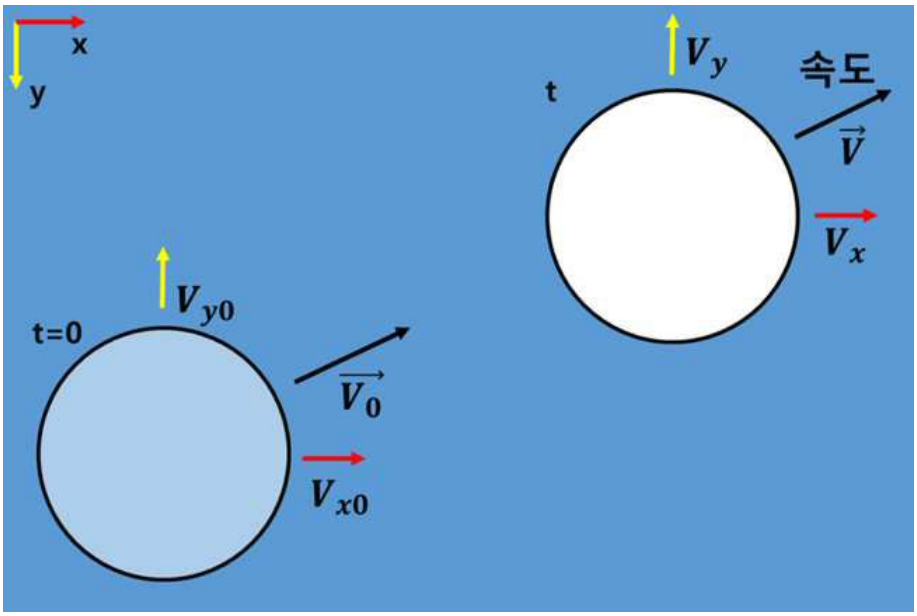
도면4


x
y
$\overrightarrow{V_p}$
F_{sx}
$\overrightarrow{F_s}$
F_{sy}
마찰계수 μ_k

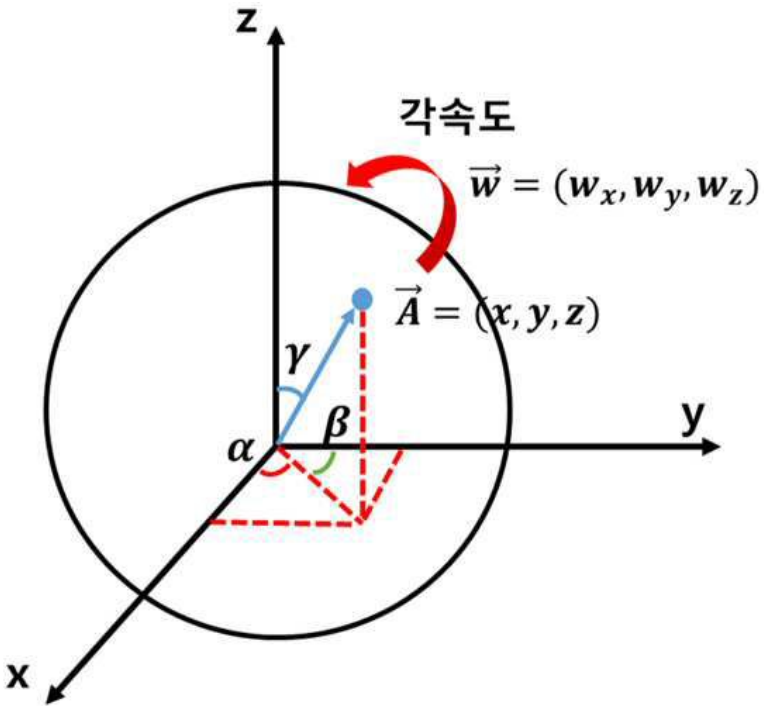
도면5



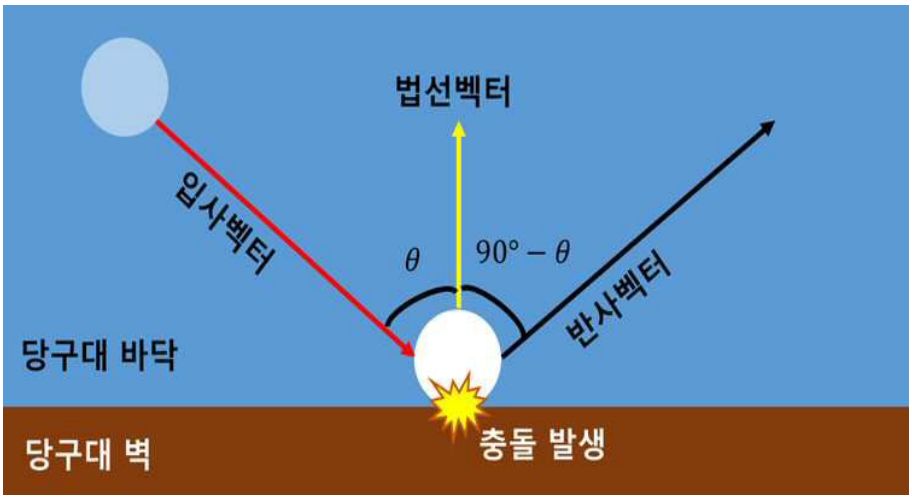
도면6



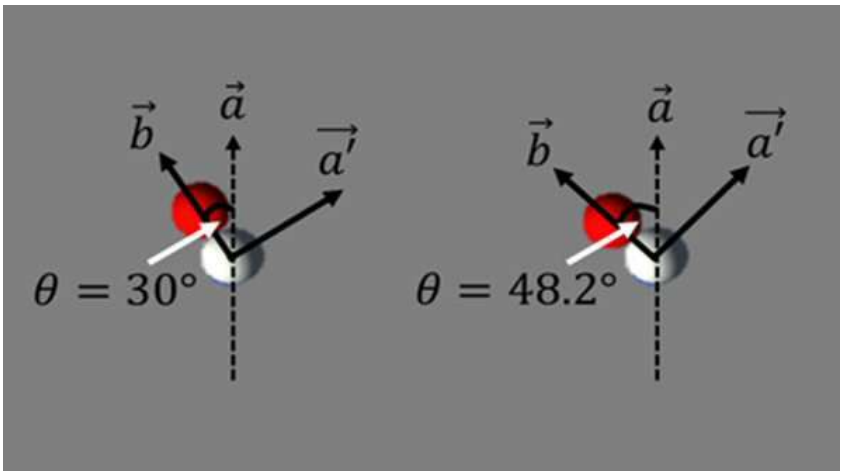
도면7


z
각속도
$\vec{w} = (w_x, w_y, w_z)$
$\vec{A} = (x, y, z)$
γ
β
α
y
x

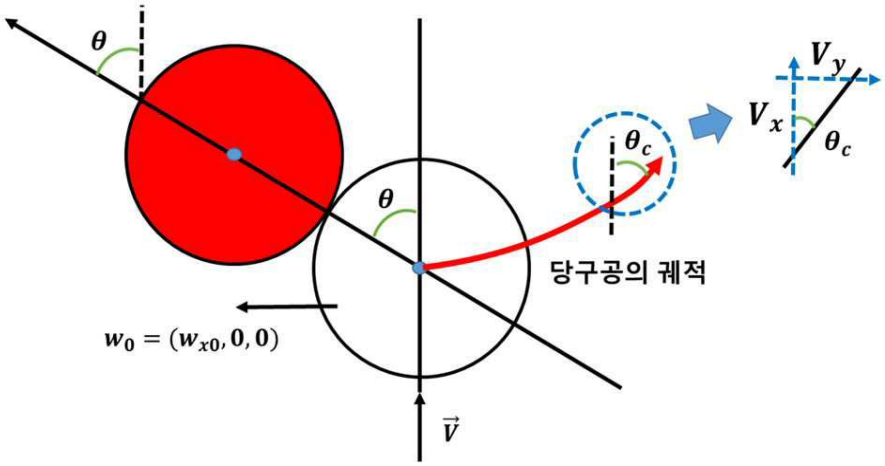
도면8


법선벡터
입사벡터
θ
90° − θ
반사벡터
당구대 바닥
당구대 벽
충돌 발생

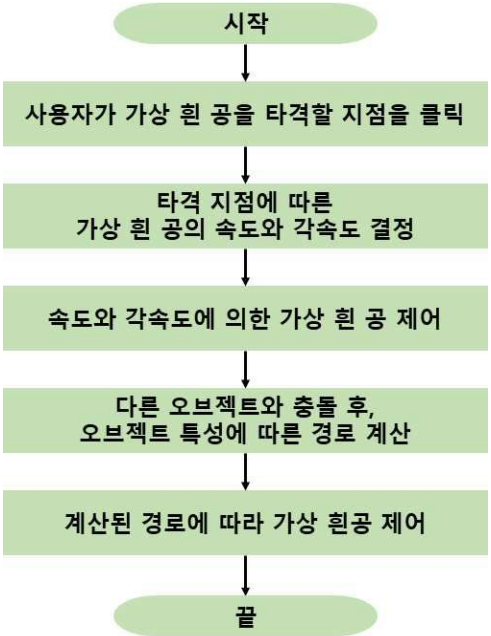
도면9



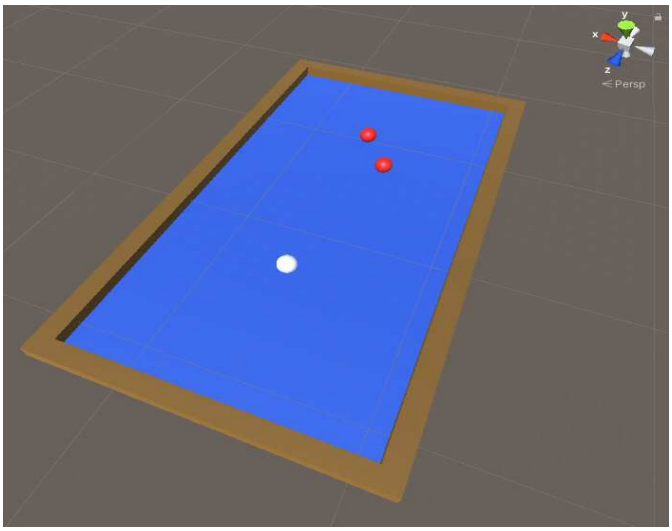
도면10



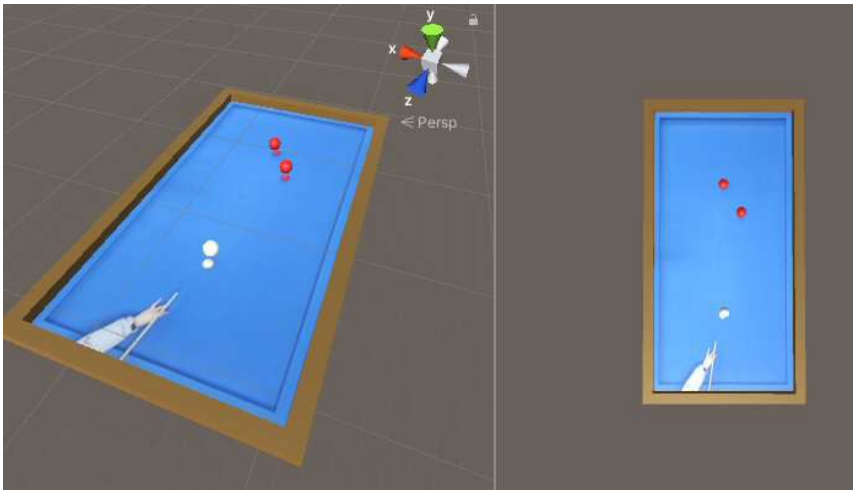
도면11



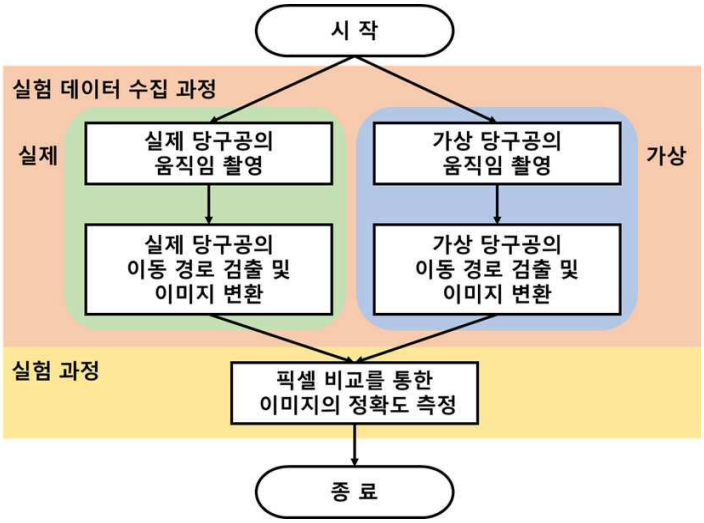
도면12



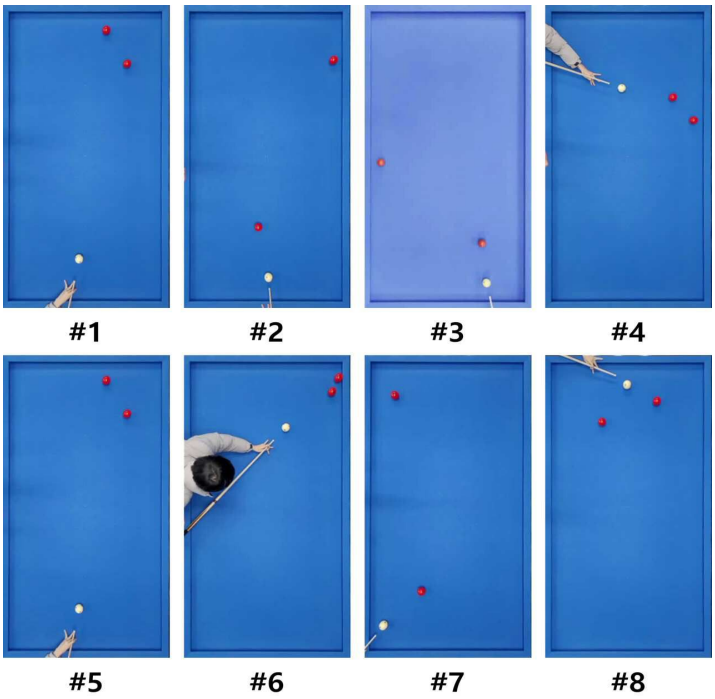
도면13



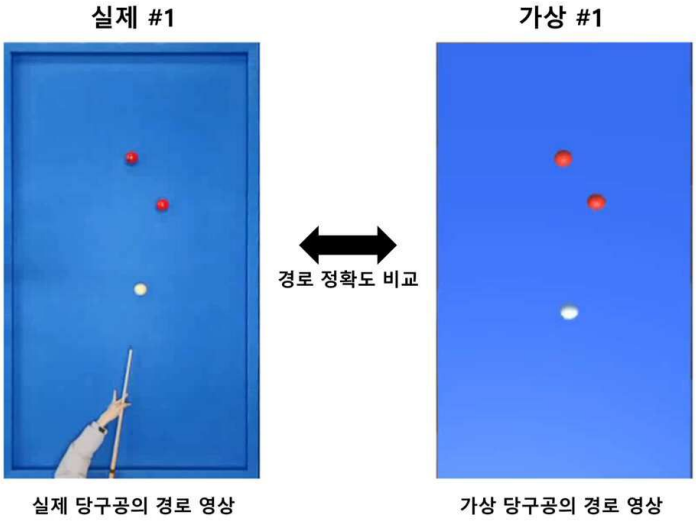
도면14



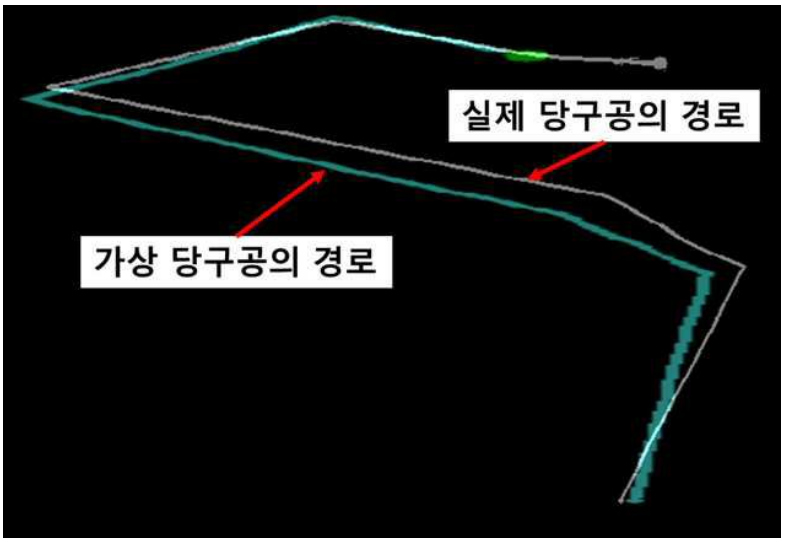
도면15



도면16



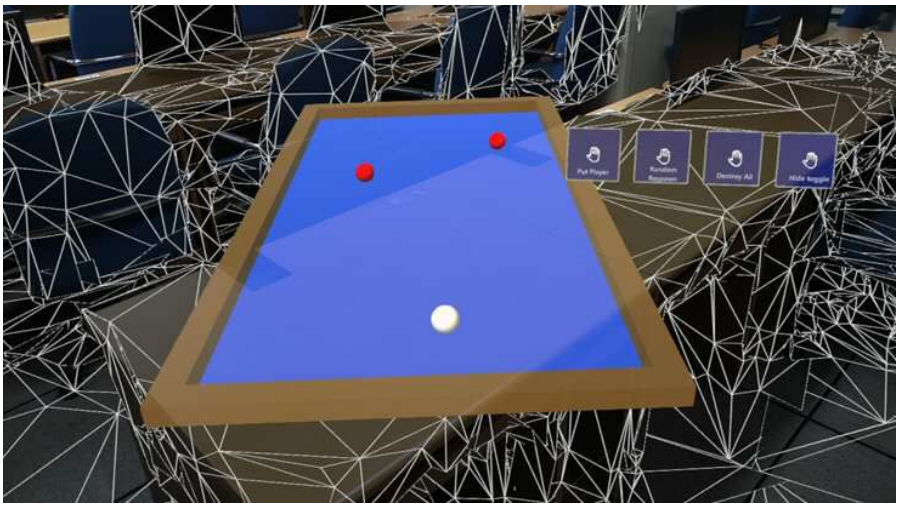
도면17



도면18



도면19



도면20

