

# 서강대학교

## 컴퓨터 그래픽스 연구실 소개

(<http://grmanet.sogang.ac.kr>)

<2020/09/14>

서강대학교 공과대학 컴퓨터공학과  
임 인 성 교수

# 순서

- 컴퓨터 그래픽스 분야 소개
- 컴퓨터 그래픽스 연구실 관심 분야
  - 최근 관심 분야: VR + AR + MR → XR
  - 최근 수행 관련 연구
  - 진행 중인 연구 1/2
  - 진행 중인 산학 협력 개발 사례
  - 기타 진행 중인 연구개발 내용
- 연구실 홈페이지 <http://grmanet.sogang.ac.kr> 링크 동영상 참조

# 컴퓨터 그래픽스 분야 소개

(<http://grmanet.sogang.ac.kr>)

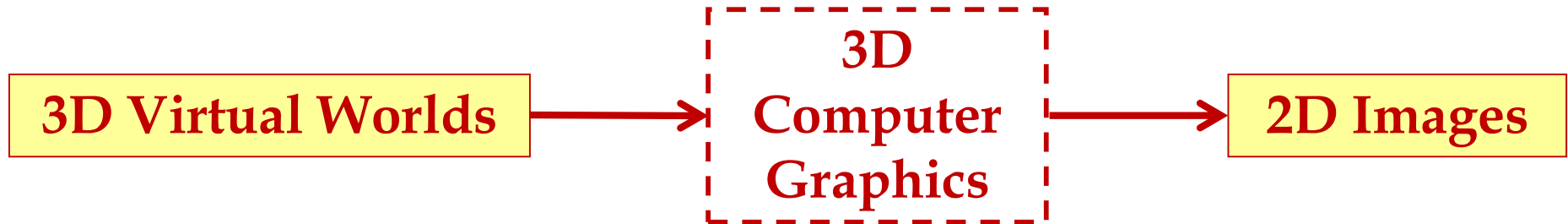
<2020/09/14>

서강대학교 공과대학 컴퓨터공학과  
임 인 성 교수

# 3D Computer Graphics and Applications

- 목적

- 현실과 같은 가상의 3차원 세상을 창조하여 그로부터 사실적인 영상을 생성하고 응용하는데 필요한 기술을 연구



- 핵심 주제

- 3D 기하 모델링(3D Geometric Modeling)
  - 어떻게 하면 가상의 3차원 세상의 물체들을 효과적으로 표현할 수 있을까?
- 3D 애니메이션(3D Animation)
  - 어떻게 하면 가상의 3차원 세상에서의 움직임을 자연스럽게 표현할 수 있을까?
- 3D 렌더링(3D Rendering)
  - 어떻게 하면 마치 카메라로 촬영한 것과 같이 사실적인 이미지를 생성할 수 있을까?
- 가상/증강/혼합 현실 (Virtual/Augmented/Mixed Reality)
  - 어떻게 하면 다양한 user interface를 사용하여 현실 세계를 유용한 방향으로 확장할 수 있을까?

- 적용 분야



Special Effects & Animation



3D Games



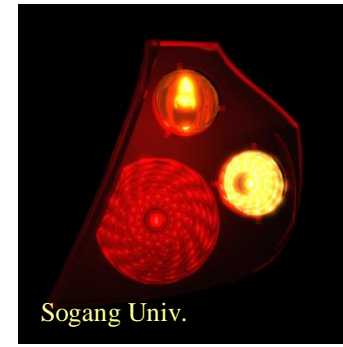
Mobile Graphics



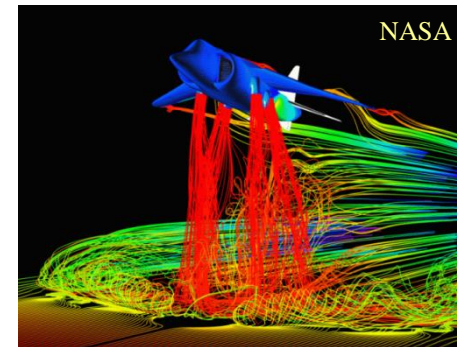
3D User Interfaces



Virtual/Augmented/Mixed Reality



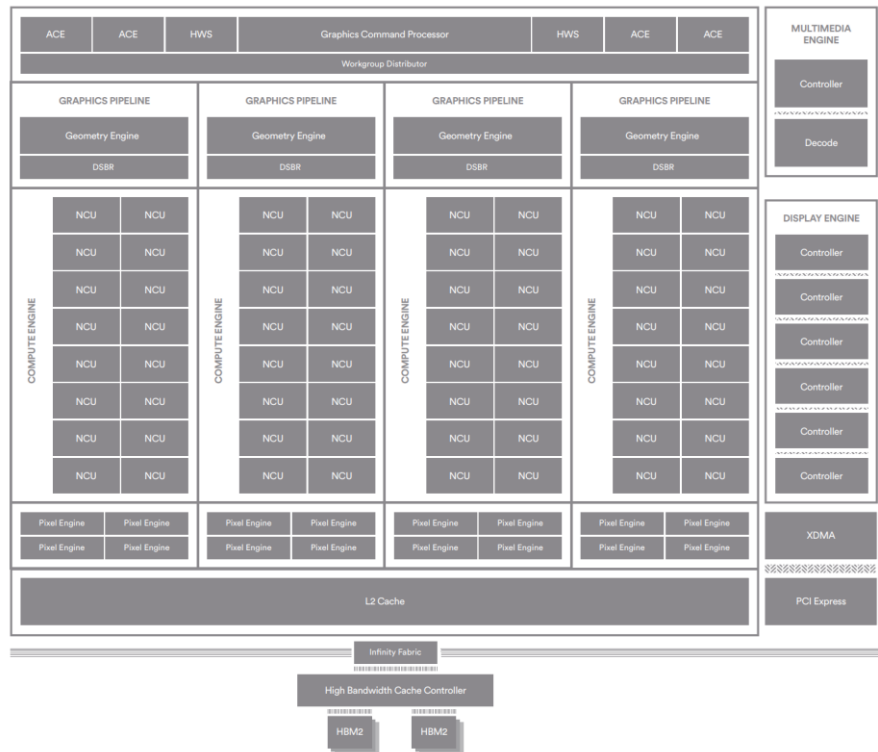
Production  
Rendering



Scientific Visualization

# GPGPU (General-Purpose GPU Computing)

- 최근 GPU의 놀라운 성능 향상으로 인하여 3D 그래픽스 분야의 문제 뿐만 아니라 “compute-intensive data-parallel” 성질을 가지는 **일반 응용 문제를 해결**하는데 유용하게 쓰이고 있음.
  - CUDA / OpenCL 프로그래밍



**Google's Cloud Platform**

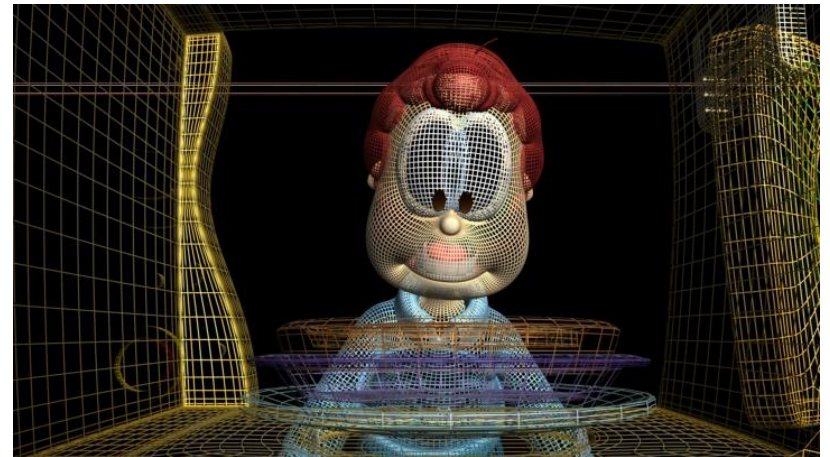
**AMD Radeon RX Vega64 Liquid Cooled Edition (13.7 TFLOPS)**

Computer Graphics Laboratory, Department of Computer Science and Engineering, Sogang University



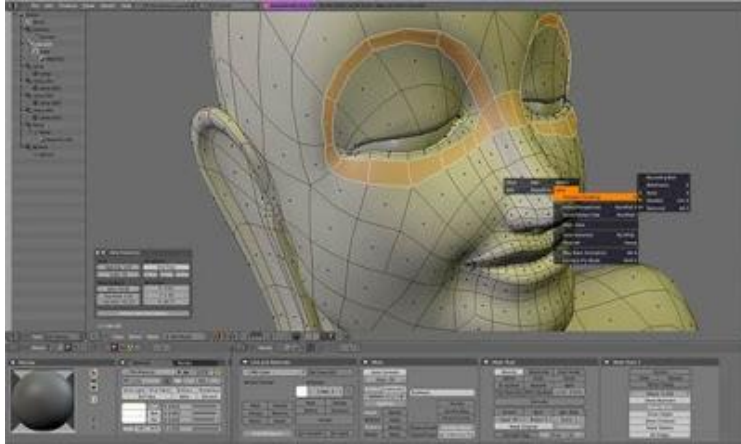
# 3D Geometric Modeling

- “**3D modeling** is the process of developing a mathematical, wireframe representation of any three-dimensional object, called a "3D model", via specialized software.” (*from Wikipedia*)
  - **Polygonal models**
  - Curved surface models
  - Volumetric models
  - Procedural models
  - Etc.



© 디지아트 프로덕션 & 서강대학교 컴퓨터 그래픽스 연구실

## 3D modeling tool



© Blender

## 3D Scanning

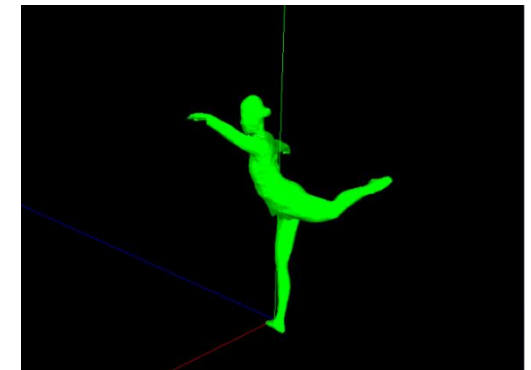


© Pixar

## 3D models from captured images



...





# 3D Animation

- “**3D animation** refers to the *temporal* description of an object, i.e., how it moves and deforms over time.” (*from Wikipedia*)
  - Key framing
  - Inverse kinematics
  - Motion capture
  - Physically based simulation
  - Etc.

- **Example 1: Motion capture**



© The Lord of the Rings



© Dawn of the Planet of the Apes



© FaceShift

- **Example 2:** Physically based fluid animation



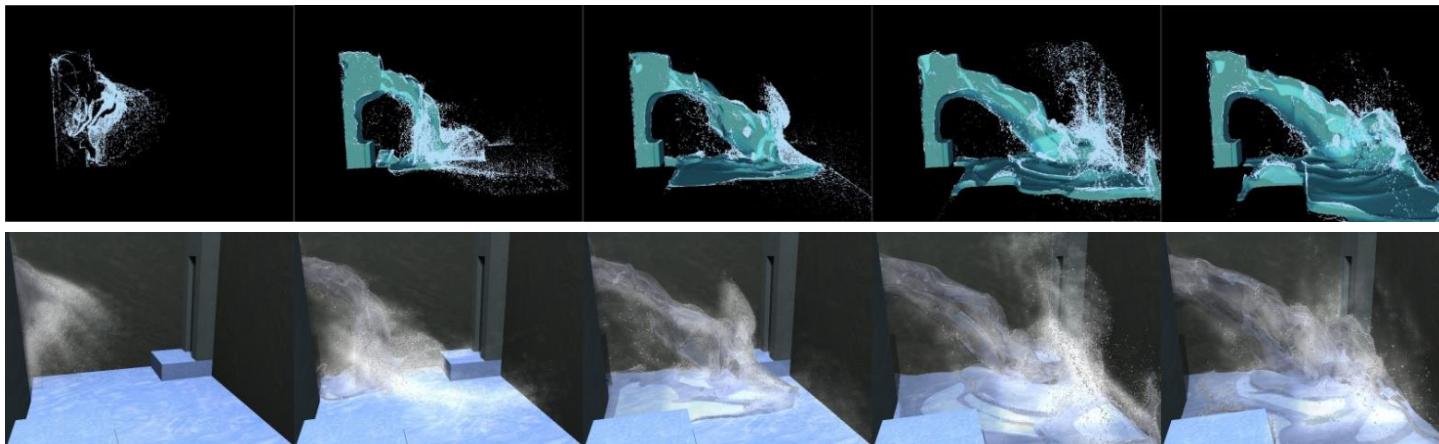
$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + \nu \nabla \cdot (\nabla \mathbf{u}) - \frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{f}$$

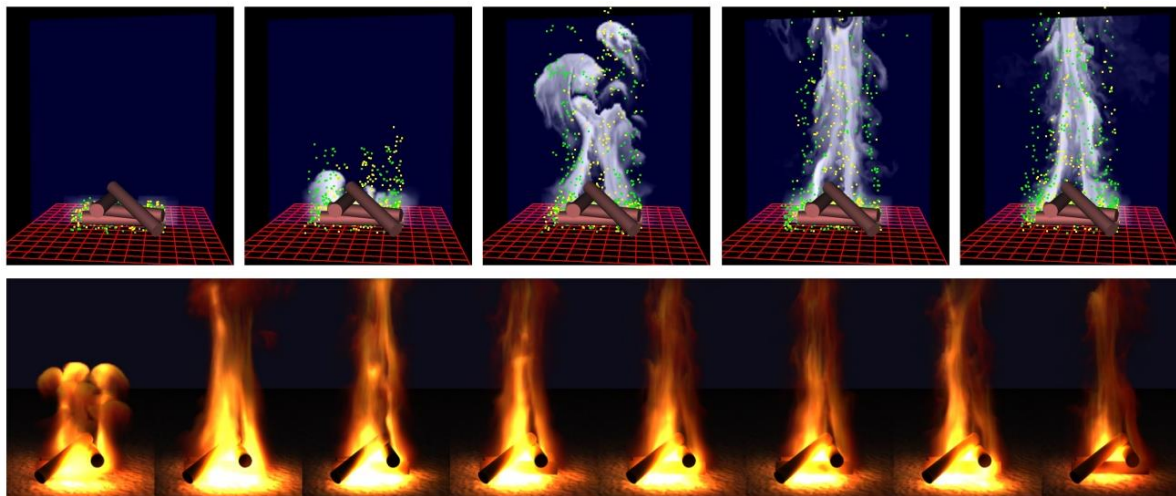
© Nick Foster

- **Example 3: Physically based fluid animation**

J. Kim, D. Cha, B. Chang, B. Koo, I. Ihm, "Practical Animation of Turbulent Splashing Water", *ACM SIGGRAPH/Eurographics Symp. on Computer Animation*, 2006.



B. Kang, Y. Jang, and I. Ihm, "Animation of Chemically Reactive Fluids Using a Hybrid Simulation Method", *ACM SIGGRAPH/Eurographics Symp. on Computer Animation*, 2007.

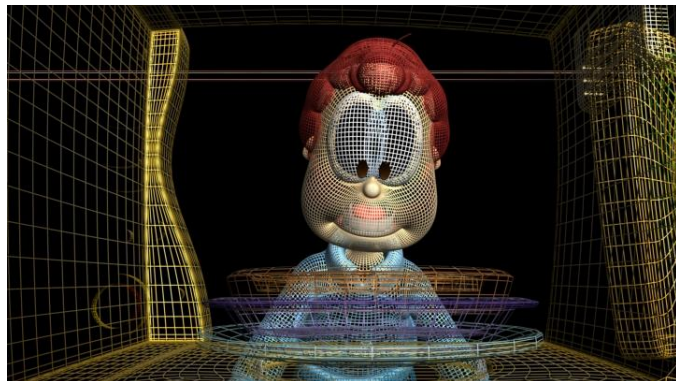
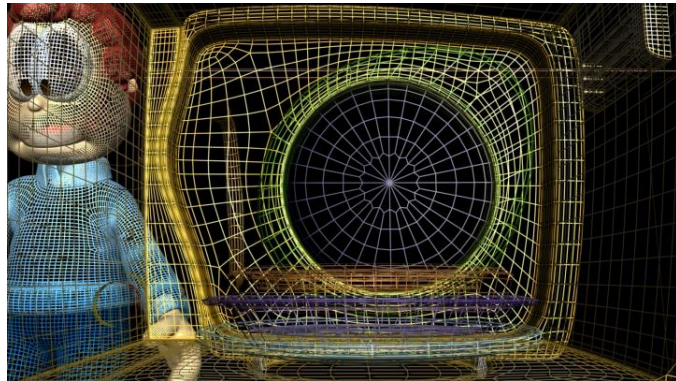


© 서강대학교 컴퓨터 그래픽스 연구실



# 3D Rendering

- “**3D rendering** is the final process of creating the actual 2D image or animation from the prepared scene. This can be compared to taking a photo or filming the scene after the setup is finished in real life.” (*from Wikipedia*)





- Example 1:** Physically based real-time Monte Carlo ray tracing

$$\begin{aligned}
 \underbrace{L_o(x, \vec{\omega})}_{\text{outgoing radiance}} &= \underbrace{L_e(x, \vec{\omega})}_{\text{emitted radiance}} + \underbrace{L_r(x, \vec{\omega})}_{\text{reflected radiance}} \\
 &= \underbrace{L_e(x, \vec{\omega})}_{\text{emitted radiance}} + \int_{\Omega} f_r(x, \vec{\omega}', \vec{\omega}) L_i(x, \vec{\omega}') (\vec{\omega}' \cdot \vec{n}) d\vec{\omega}'
 \end{aligned}$$

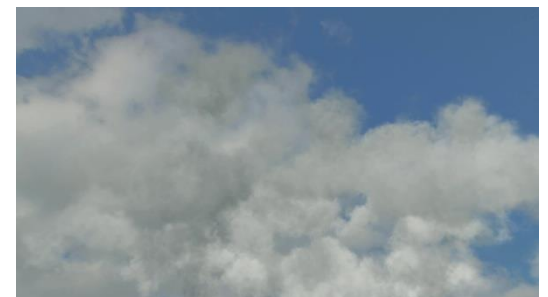
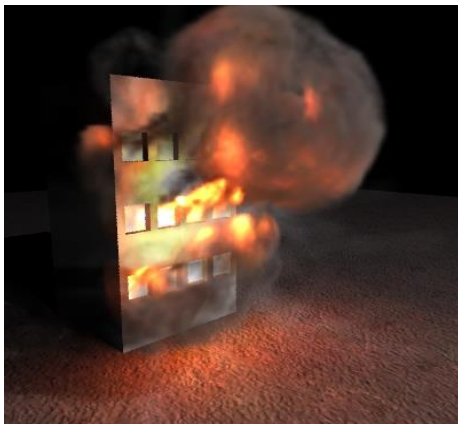


© 서강대학교 컴퓨터 그래픽스 연구실

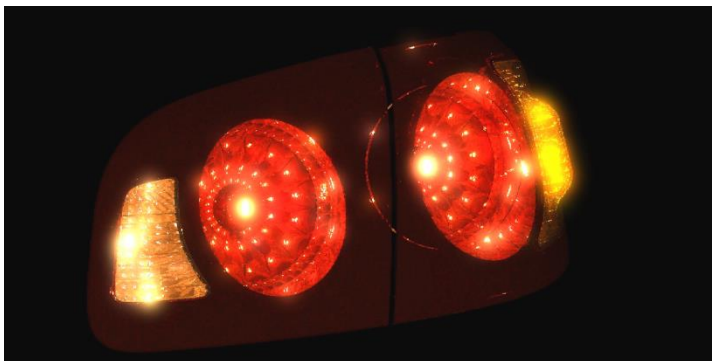
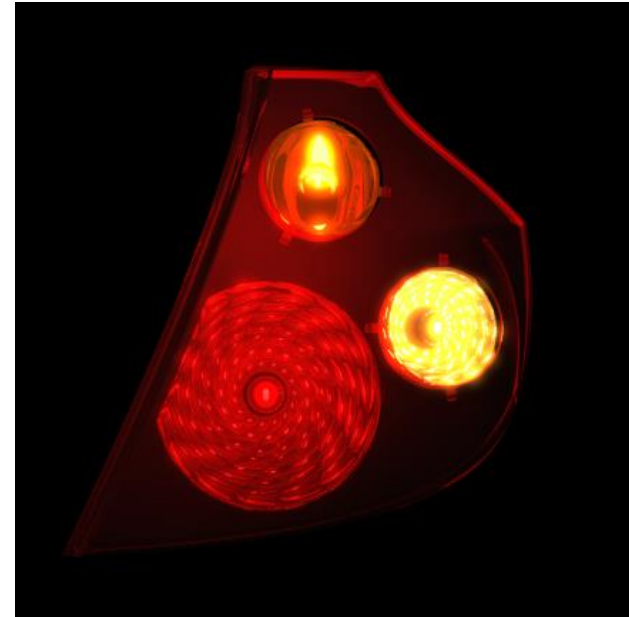
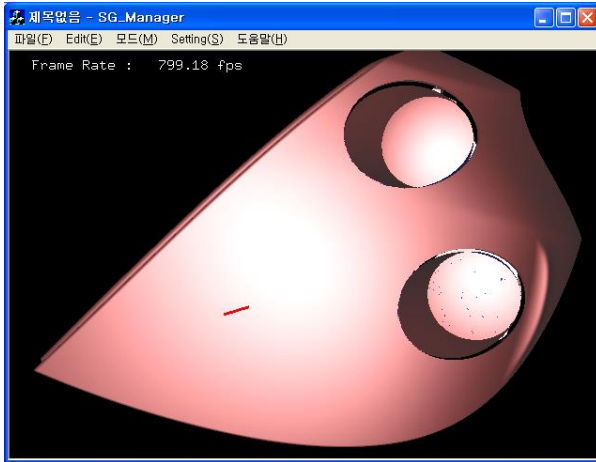
- Example 2: Physically based volume rendering**

$$\begin{aligned}
 \underbrace{L(x, \vec{\omega})}_{\text{Outgoing radiance}} = & \underbrace{\frac{L(x + s\vec{\omega}, \vec{\omega}) e^{-\int_0^s \sigma_t(x+s'\vec{\omega})ds'}}_{\text{Incoming radiance}} + \underbrace{\int_0^s \frac{L_e(x + s'\vec{\omega}) e^{-\int_0^{s'} \sigma_t(x+t\vec{\omega})dt}}_{\text{Emission}} ds'} \\
 & + \underbrace{\int_0^s \left\{ e^{-\int_0^{s'} \sigma_t(x+t\vec{\omega})dt} \sigma_s(x + s'\vec{\omega}) \int_{\Omega_{4\pi}} p(x + s'\vec{\omega}, \vec{\omega}', \vec{\omega}) L(x + s'\vec{\omega}, \vec{\omega}') d\vec{\omega}' \right\} ds'}_{\text{In-scattering}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Extinction due to absorption and out-scattering}}
 \end{aligned}$$

© 서강대학교 컴퓨터 그래픽스 연구실



- **Example 3:** Production rendering



© 서강대학교 컴퓨터 그래픽스 연구실

# Real-Time Rendering

- 대화식(interactive) 그래픽스 응용 소프트웨어를 제작하기 위해서는 '매우 짧은' 시간 안에(예를 들어 1초에 30 프레임) 실시간으로 이미지를 생성해주어야 함.
  - 예: 3D 게임, 가상/증강/혼합 현실, 3D GUI 등
- **과거:** 제한된 시간 안에 렌더링 계산을 마쳐야 하므로 '단순한' 형태의 렌더링 모델 사용 → 생성 이미지의 사실성 저하.
- **현재:** 최근 프로세서 제조 기술의 비약적인 발전으로 인하여 실시간으로 생성할 수 있는 이미지의 사실성이 매우 높아지고 있음.



© 서강대학교 컴퓨터 그래픽스 연구실

# Photorealistic Rendering

- 마치 카메라로 촬영한 정도 수준의 이미지를 생성하기 위한 기법.
- 일반적으로 계산량이 많으나 매우 사실적인 이미지 생성.
- 전통적으로 영화/광고의 특수 효과 생성 분야에서 널리 사용됨.



© Actual Studio 882 Rendering

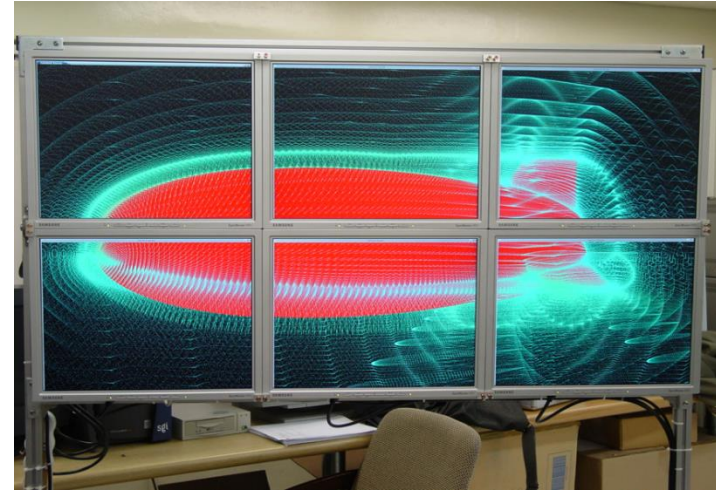


© KeyShot Newsletter



# Scientific Visualization

- Parallel computing을 통한 방대한 과학적 데이터의 가시화 예



© 서강대학교 컴퓨터 그래픽스 연구실



© U. of Texas at Austin, CCV

# 컴퓨터 그래픽스 연구실 관심 분야

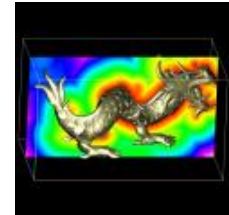
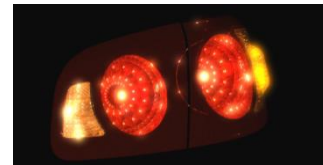
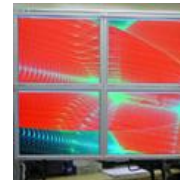
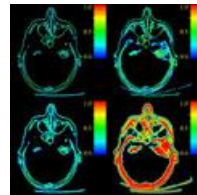
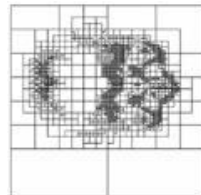
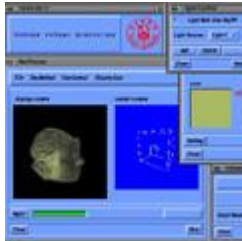
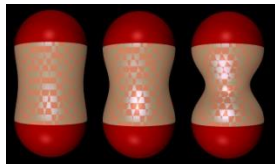
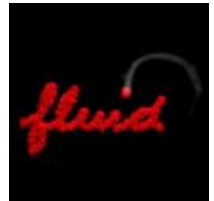
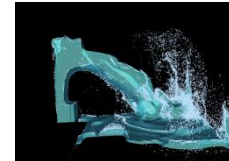
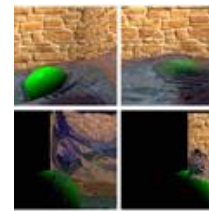
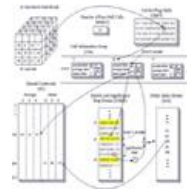
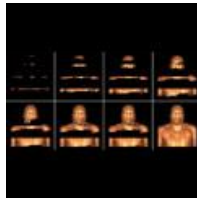
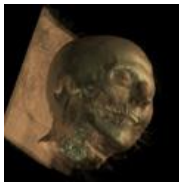
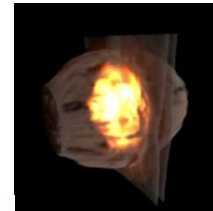
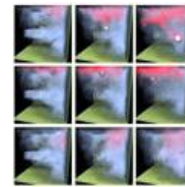
(<http://grmanet.sogang.ac.kr>)

<2020/09/14>

서강대학교 공과대학 컴퓨터공학과  
임 인 성 교수

## 서강대학교 컴퓨터 그래픽스 연구실 (1993~)

컴퓨터 그래픽스 분야 전반에 걸쳐 다양한 연구개발을 수행하여 음.



# 최근 관심 분야: VR + AR + MR → XR

- Virtual Reality (VR, 가상 현실)
- Augmented Reality (AR, 증강 현실)
- Mixed Reality (MR, 혼합 현실)
- eXtented Reality (XR, 확장 현실)





# Virtual Reality(VR, 가상 현실)

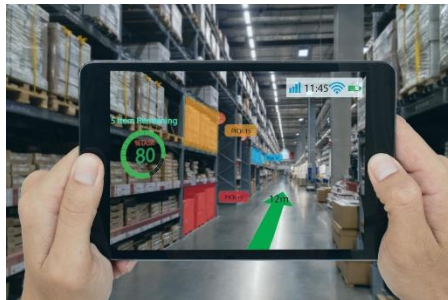
- 컴퓨터 기술을 사용하여 실제와 유사한 **가상의 3D 환경으로 몰입할 수 있도록** 해주는 기술
- A simulated experience that can be similar to or completely different from the real world.
  - Interact with **fully artificial immersive virtual** world
- Typical equipment: **Multi-projected environments**(VR cubes) and **VR headsets**





# Augmented Reality(AR, 증강 현실)

- 실제 존재하는 3차원 세상에 컴퓨터 그래픽스 기술로 생성한 가상의 사물이나 정보를 마치 실제 세상에 존재하는 것처럼 보이게 하는 기술
- An interactive experience of a real-world environment where the objects that reside in the real world are enhanced by computer-generated perceptual information.
- **Virtual objects are overlaid on the real-world environment with spatial registration** that enables geometric persistence concerning placement and orientation within the real world.
- Typical equipment: **AR glasses, screens, tablets, and smartphones**



# Mixed Reality(MR, 혼합 현실)

- 가상의 세상에 존재하는 디지털 3D 물체와 현실 세계에 존재하는 실제 3D 물체를 혼합하여 새로운 환경을 창출함.
- The merging of real and virtual worlds to produce new environments and visualizations, where **physical and digital objects co-exist and interact in real time.**
- A hybrid of reality and virtual reality, encompassing both **augmented reality** and **augmented virtuality** via **immersive technology.**
- Typical equipment: **Microsoft HoloLens**



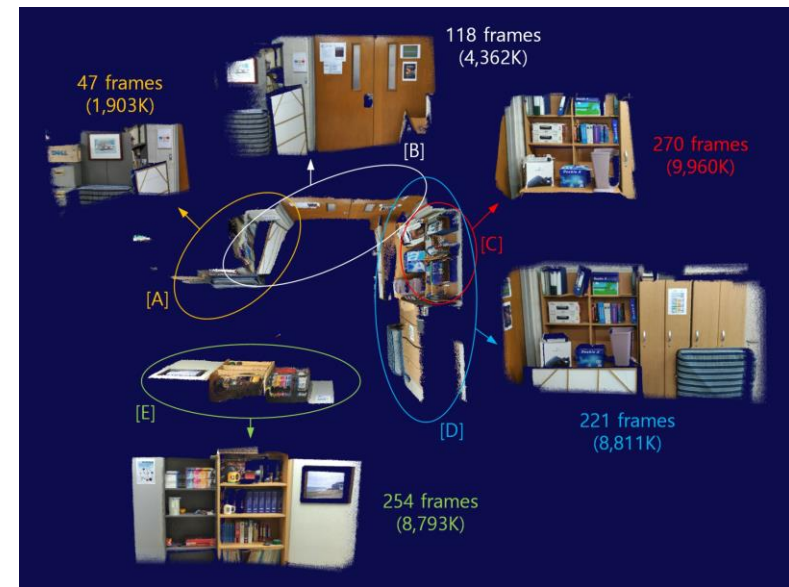
# What is Extended Reality(확장 현실)?

- A term referring to all **real-and-virtual combined environments and human-machine interactions generated by computer technology and wearables.**
- The 'X' represents a variable for **any current or future spatial computing technologies.**
  - Includes representative forms such as augmented reality (AR), mixed reality (MR) and virtual reality (VR) and the areas interpolated among them.
  - XR is a superset which includes the entire spectrum from "the complete real" to "the complete virtual" in the concept of reality–virtuality continuum introduced by Paul Milgram.
- XR is a rapid growing field being applied in a wide range of ways, such as entertainment, marketing, real-estate, training and remote work.
- Recent research revealed that more than 60% respondents believed XR will be main stream in the next five years.

# 최근 수행 관련 연구

# 최근 산학연 연구 개발 결과

- Research on the Low-cost Camera Pose Estimation and 3D Object Reconstruction Algorithms for Mobile Platform, National Research Foundation of Korea, 2017/6/1 - 2020/5/31.
- Research on High-quality Hybrid Ray Tracing Techniques Suitable for Mobile Cluster Computing, National Research Foundation of Korea, 2015/5/1 - 2017/4/30.
- Development of VR System for Effective Manipulation of Mold 3D Models, Hyundai Motor Group, 2017/12/18 - 2018/5/17.

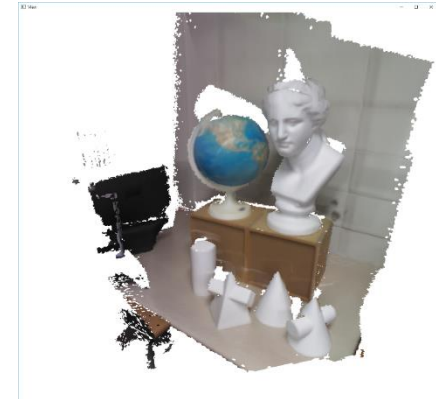




- **Development of Real-time Rendering Techniques Suitable for Mixed Reality Application Reflecting Environmental Light, VizInf, 2017/11/1 - 2018/10/17.**



- **Research on Real-time Mobile 3D Modeling, LG Electronics, 2015/8/20 - 2016/2/19.**



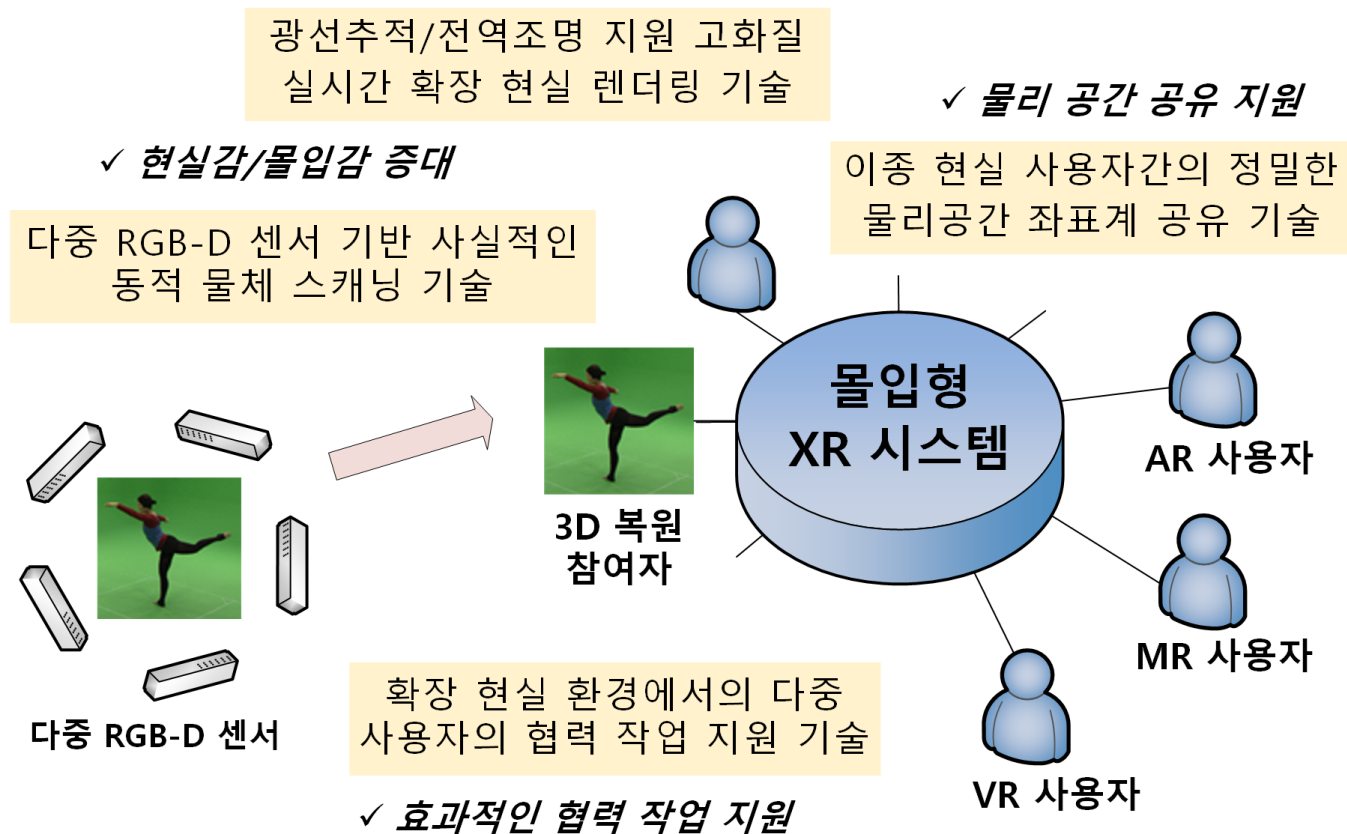
- **Research on Image Evaluation Method Exploiting Techniques of Composition of Real and Digital Models, Hyundai Motor Group, 2015/6/1 - 2015/11/30.**



# 진행 중인 연구 1

# 이종의 현실 사용자 간의 협업을 지원하는 몰입형 확장 현실 기술 연구

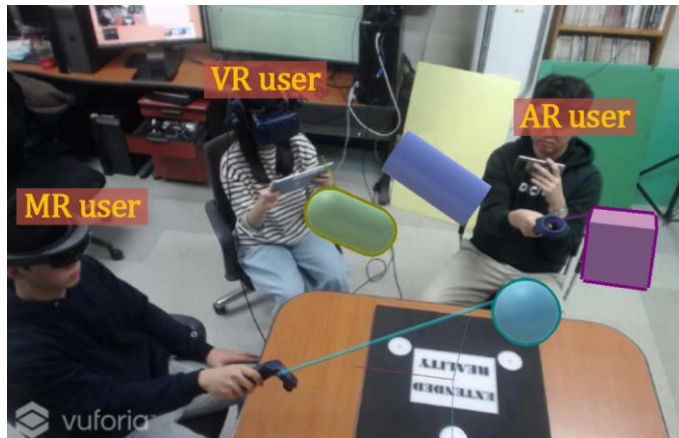
- Research on Immersive Extended-Reality Technologies Supporting Cooperation between Users from Different Realities, National Research Foundation of Korea, 2020/3/1 - 2024/2/29.



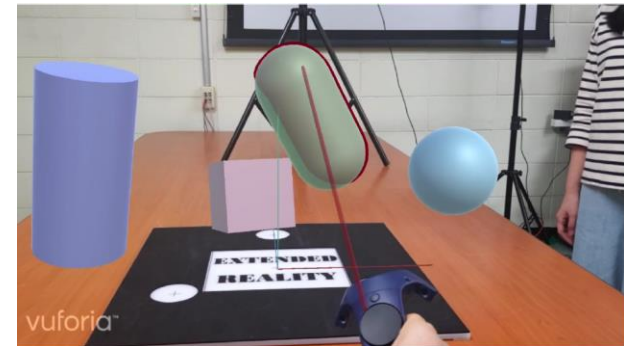
# 개발 기술 1

- 확장 현실 환경에서의 다중 사용자의 협력 작업 지원 기술

다수의 현실(VR/AR/MR)의 사용자간의 확장 현실 공간 공유 및 협력 작업 기술 개발

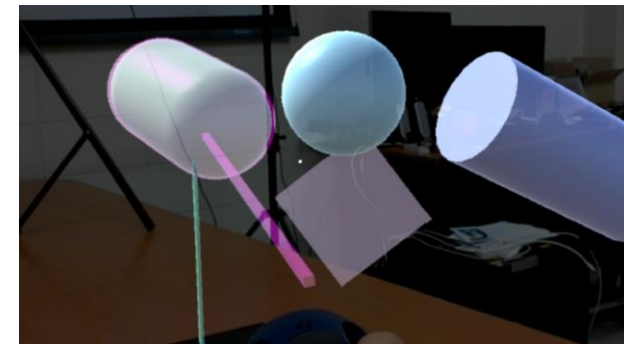


AR, VR, MR 사용자 간의 협력 시스템



View from AR User (Smartphone)

View from VR User  
(HTC VIVE HME)

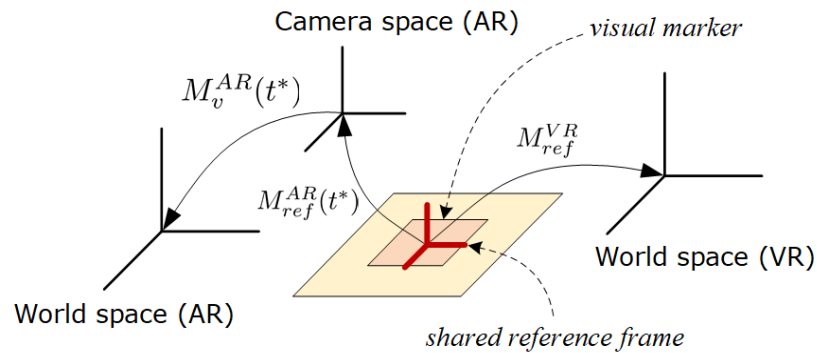


View from MR User (MS HoloLens)

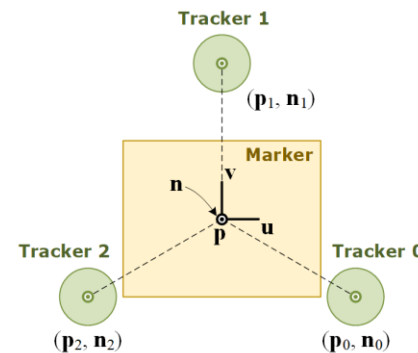
# 개발 기술 2

## • 이중 현실 사용자간의 정밀한 물리공간 좌표계 공유 기술

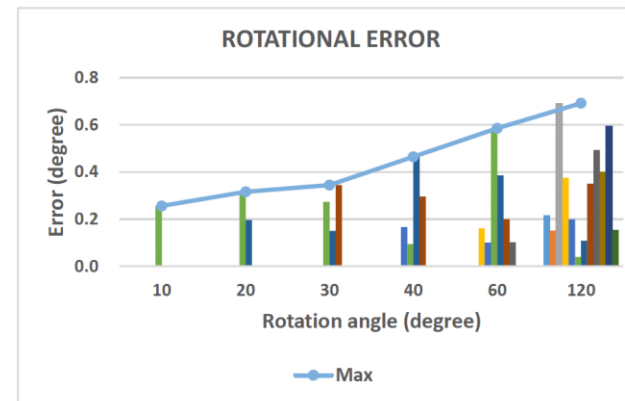
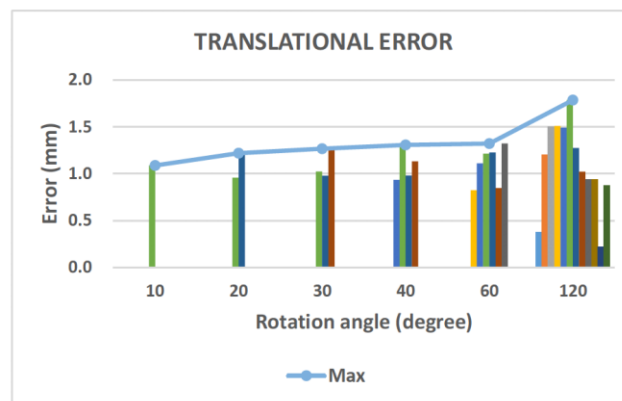
다양한 현실(VR/AR/MR)의 사용자간의 정밀한 공간 공유를 위한 기반 기술 개발



트래킹 보드를 이용한 공간 공유의 원리



공간 공유를 위한 트래킹 보드 구성도 및 실물





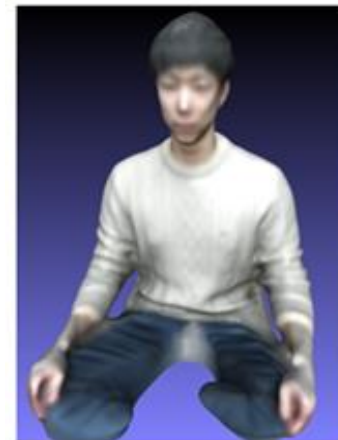
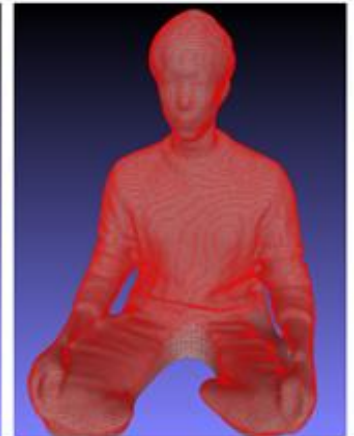
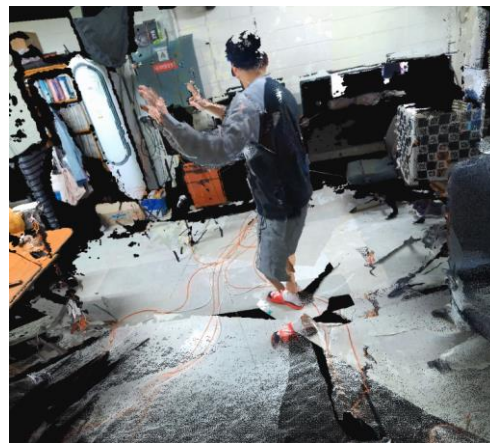
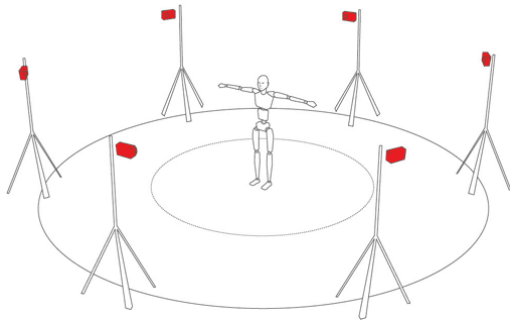
# 개발 기술 3

- 다중 RGB-D 센서 기반 사실적인 동적 물체 스캐닝 기술

다수의 저가형 RGB-D 센서를 사용한 3D 물체의 인식 및 3D 비디오 생성



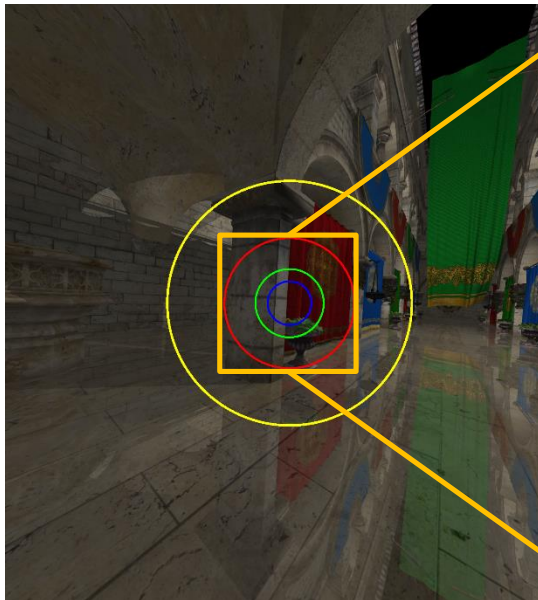
Microsoft Azure Kinect



# 개발 기술 4

- 광선 추적/전역 조명 지원 고화질 실시간 확장 현실 렌더링 기술

VR HMD 상에서의 가상 세계의 현실감 제고를 위한 효과적인 foveated ray tracing 기법 개발



시각인지 모델 기반의 시야 범위



단순 광선 추적법

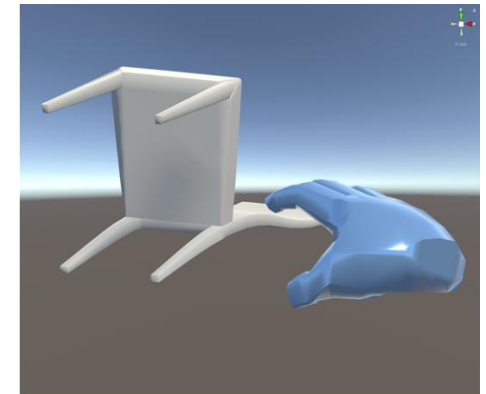
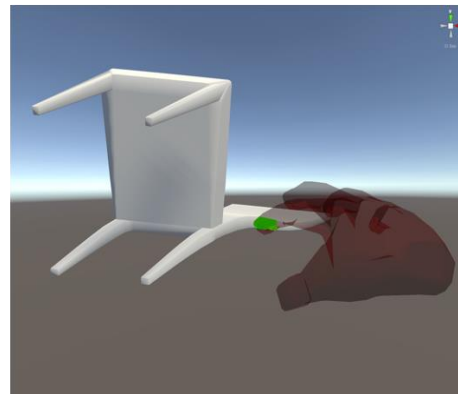
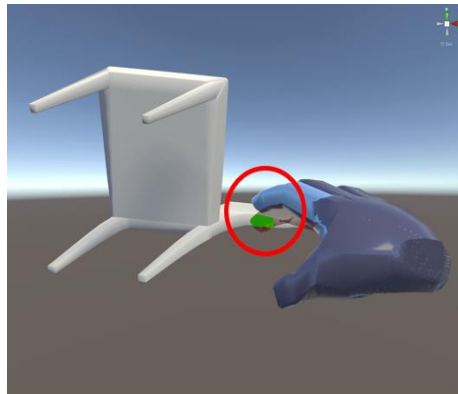
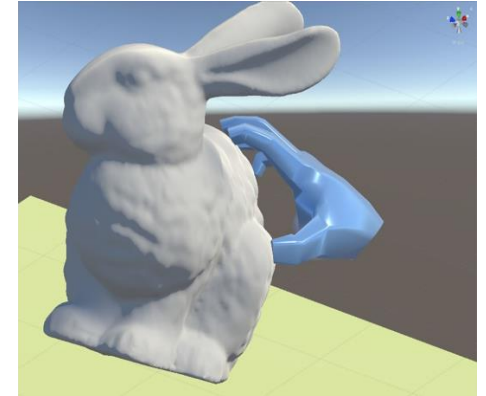
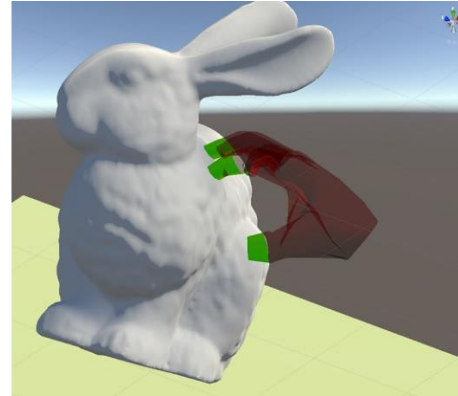
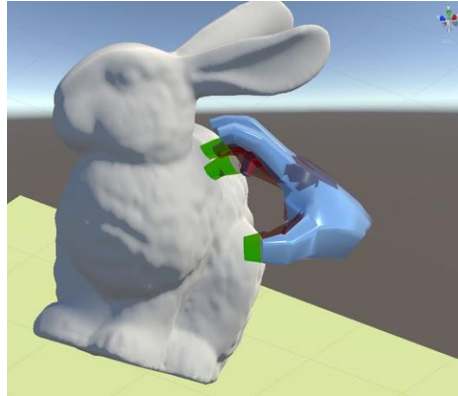
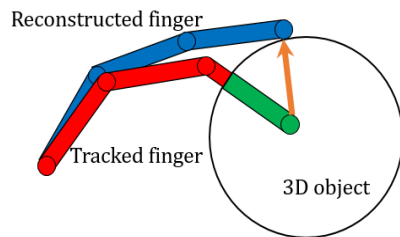
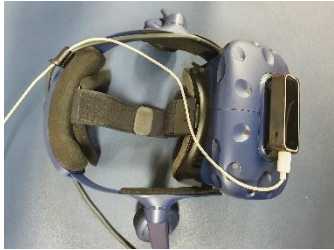


적응적 광선 샘플링을 적용한  
포비티드 광선 추적법

# 개발 기술 5

- 가상 환경에서의 손동작을 사용한 물체 조작의 현실감 제고

Ray tracing 기반의 충돌 검사와 역기구학을 적용한 몰입감 높은 VR 손동작 기술 개발



## 진행 중인 연구 2



# GPU 그래픽스 파이프라인 기반 가상시점 영상 고속 합성 기술 연구

- Research on High-Speed Synthesis of Images for Virtual Views based on GPU Graphics Pipeline, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), 2020/3/16 - 2020/11/30.

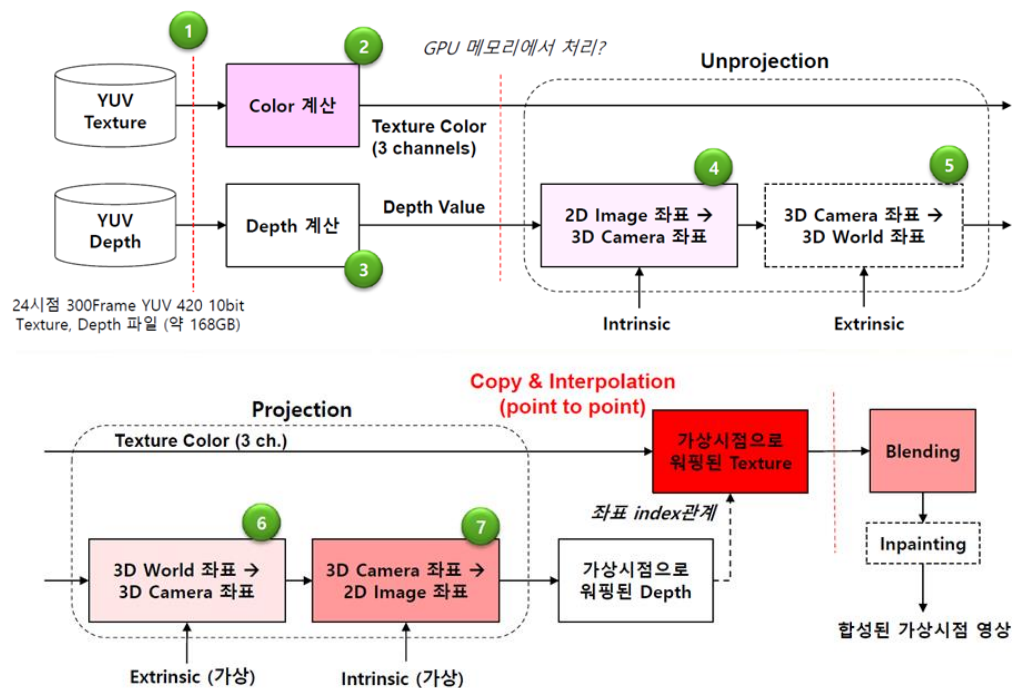




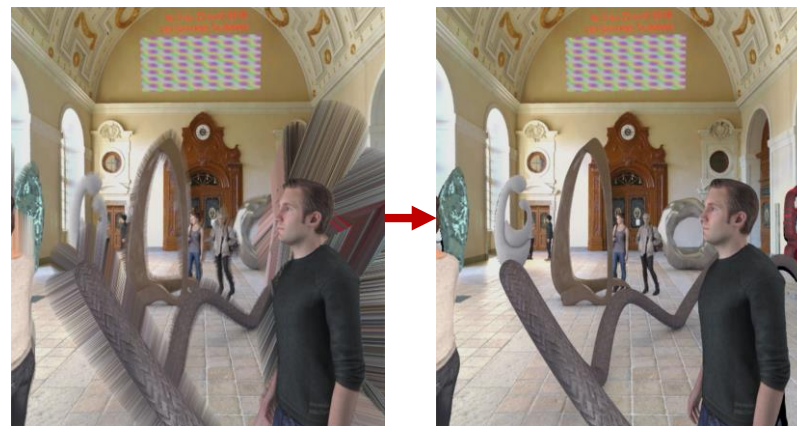
# 개발 기술 1

- 가상 시점 합성 알고리즘 고속화를 위한 GPU 그래픽스 파이프라인 적용 기술

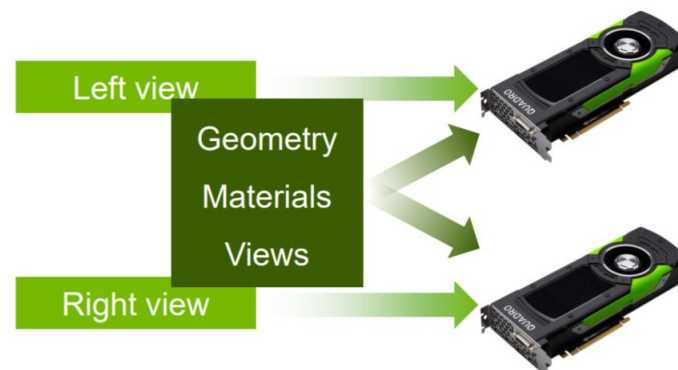
Texture Compression, OpenGL Shader, Multi-GPU 기반의 고속 합성 알고리즘 개발



가상 시점 합성 알고리즘



Shader를 통한 렌더링 품질 향상

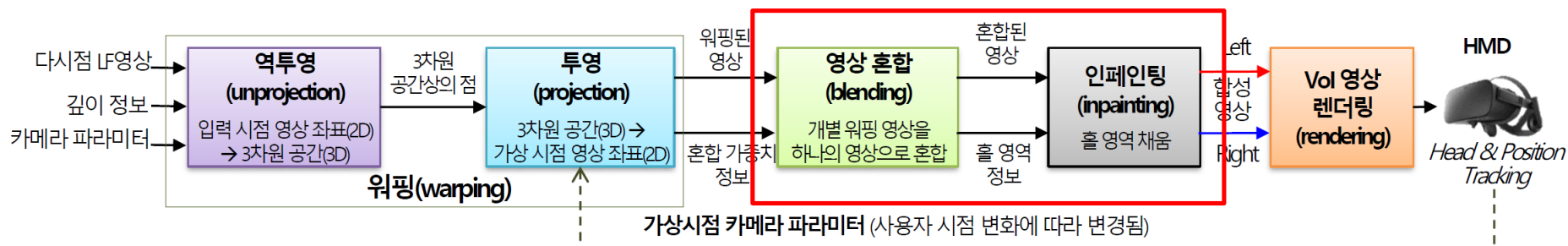


Stereo-View의 Multi-GPU 활용

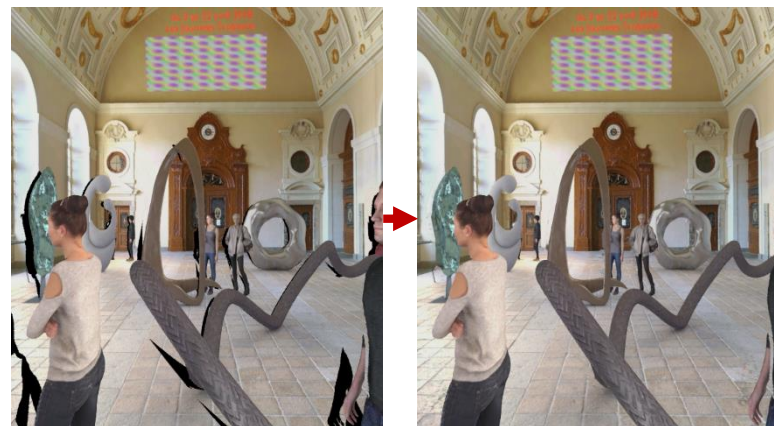
# 개발 기술 2

## • 다시점 영상 및 깊이 정보를 활용한 렌더링 품질 향상 기술

### 가상 시점 합성 품질 향상을 위한 Blending과 In-Painting 기술 개발



Blending을 통한 색감 보정



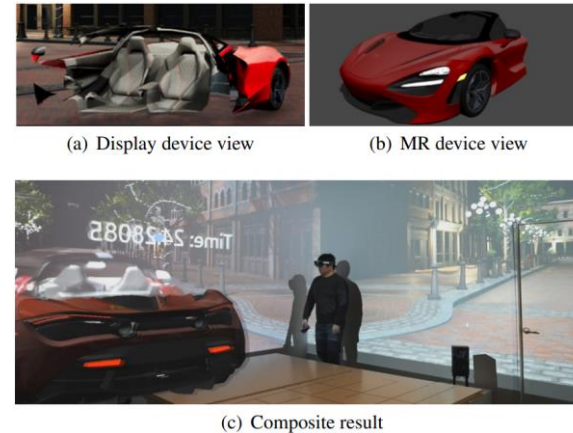
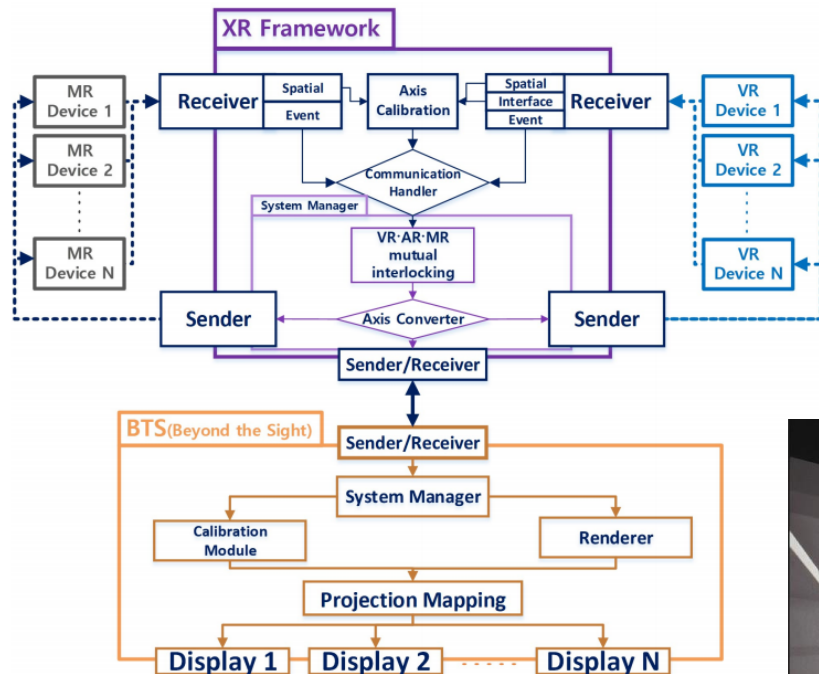
In-Painting을 통한 Hole 제거

# 진행 중인 산학 협력 개발 사례

# 산학협력 응용 기술 개발 사례 1

- 확장 현실 응용 디스플레이 시스템(with Vizinf)

프로젝터 3대와 HoloLens(MR)의 정밀한 공간 보정을 통해 사용자의 몰입감 향상





# 산학협력 응용 기술 개발 사례 2

- 확장 현실 응용(VR+AR+MR)게임 개발(with VizinF)

다양한 이기종 장비 기반의 공간 기술을 활용한 효과적인 User Interface 기술 개발

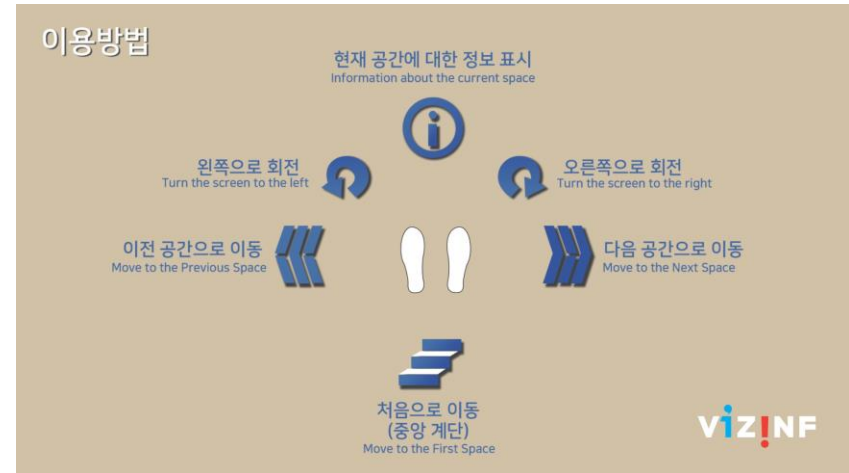




# 산학협력 응용 기술 개발 사례 3

- 충청 대한민국 임시정부청사 가상체험 시스템(with Vizinf)

프로젝터 4대와 Azure Kinect(RGB-D 카메라)를 사용한 백범김구기념관 VR 시스템 개발



# 산학협력 응용 기술 개발 사례 4

- 가상 환경에서 건축물 설계 가시화(with Vizinf)

언리얼 엔진과 VR HMD를 활용하여 건축 예정 건물의 실내 인테리어의 고품질 가시화



## 기타 진행 중인 연구개발 내용

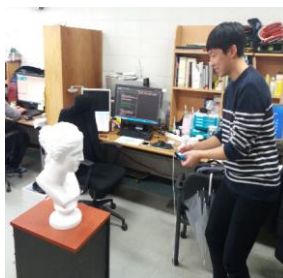
# RGB-D 카메라 기반 3D 복원 기술 1

- 깊이 카메라의 6 DOF Pose Tracking 및 3차원 물체 구축 기술 개발

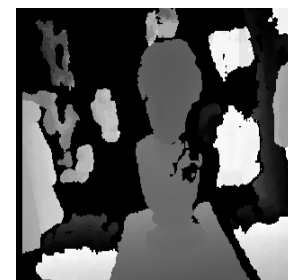
Kinect sensor 또는 모바일 기기 용 Structure sensor로 생성한 depth image stream에 대한 실시간 카메라 트래킹 및 촬영 물체 재구성을 위한 핵심 기술 개발



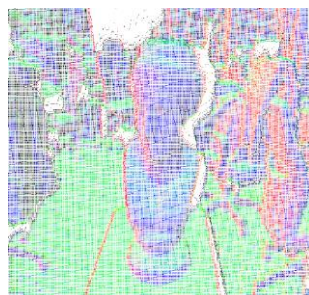
촬영 대상 물체 설정



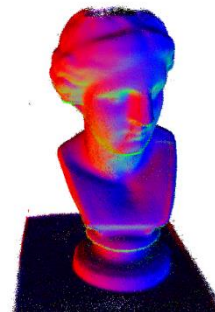
Depth Sensor를 이용한 촬영



Depth Image Filtering



카메라 공간 point-normal 생성



Camera Pose Tracking



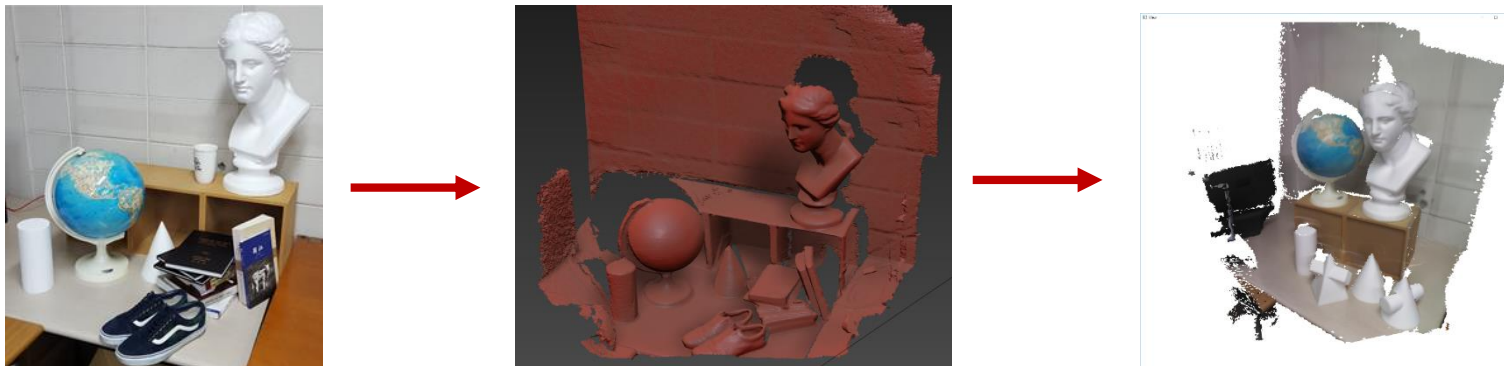
3D Model Reconstruction



# RGB-D 카메라 기반 3D 복원 기술 2

- 텍스처 매핑 적용을 통한 현실감 있는 3차원 모델 구축 기술

Kinect sensor 또는 모바일 기기 용 Structure sensor로 촬영과 동시에 물체 구축



- 모바일 기기에 최적화된 Depth Camera 기반 3차원 물체 구축 기술



Google Tango Project 기반의 3차원 물체 구축 기술



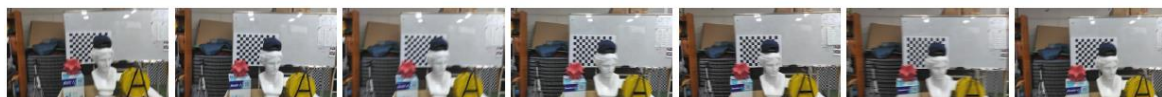
# RGB-D 카메라 기반 3D 복원 기술 3

## • 유사도 그래프 기반의 3차원 물체 구축 기술

프레임 간의 유사도 추정을 통한 효과적인 카메라 Pose Tracking 기술 개발

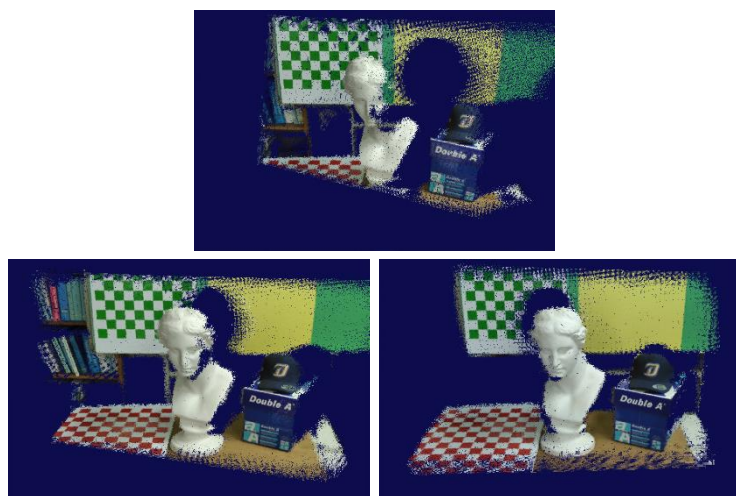


(a) From the original input sequence:  $F_{241} \xrightarrow{0.130} F_{242} \xrightarrow{0.115} F_{243} \xrightarrow{0.160} F_{244} \xrightarrow{0.205} F_{245} \xrightarrow{0.406} F_{246} \xrightarrow{0.408} F_{247}$

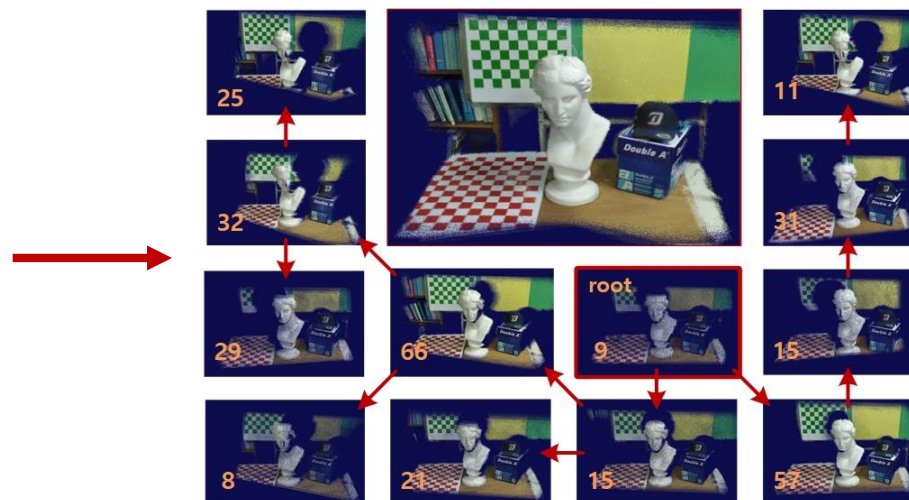


(b) From the rooted maximum spanning tree:  $F_{272} \xrightarrow{0.658} F_{205} \xrightarrow{0.895} F_{191} \xrightarrow{0.830} F_{230} \xrightarrow{0.794} F_{259} \xrightarrow{0.769} F_{130} \xrightarrow{0.902} F_{247}$

안정적인 카메라 포즈 트래킹을 위한 유사도 기반 입력 스트림 재정렬 기술



유사한 이미지 그룹 단위로 구축한 물체



구축된 물체를 유사도에 따라 정합한 물체

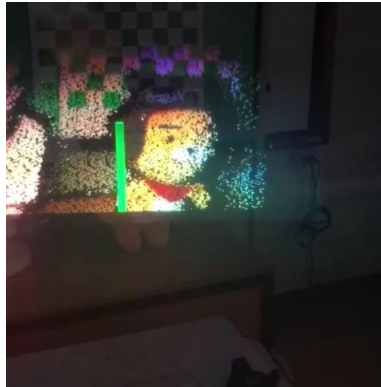
# 확장현실 응용 기술 1

- 혼합 현실 기반의 3차원 물체 구축 기술

혼합 현실 기기를 활용한 3D 스캐닝 및 모델링 기술 개발



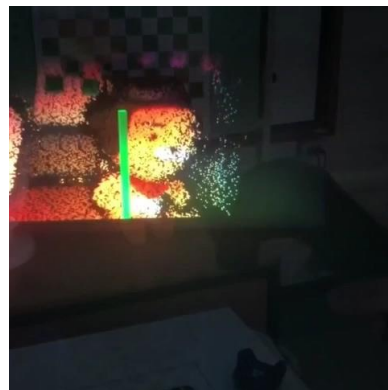
RGB-D 카메라를 이용한 촬영



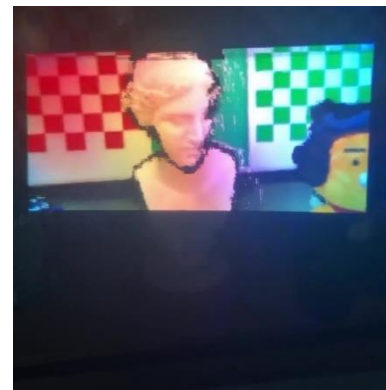
혼합 현실 시스템에서 본  
촬영된 물체



혼합 현실 시스템에서의  
물체 편집



물체 편집 결과

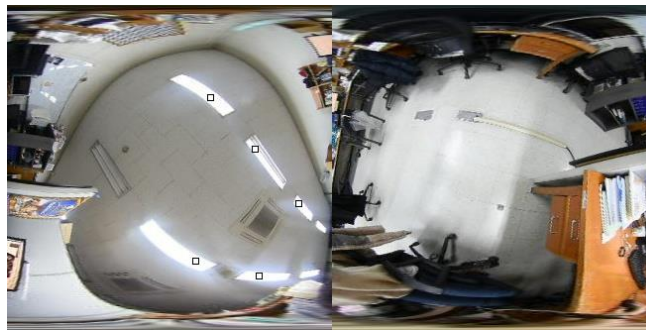


물체 편집 완료 및 구축

# 확장현실 응용 기술 2

- 증강현실 응용 프로그램 제작에 필요한 실시간 처리 기술

증강현실 SW 제작용 카메라 트래킹 및 사실적인 실시간 렌더링 기술 개발



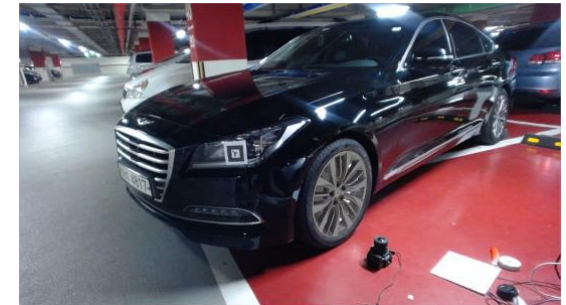
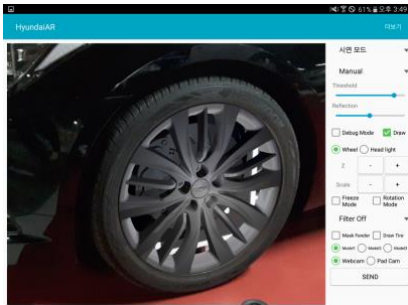
안정적인 마커 인식 및 실시간 환경 매핑 기술 적용



# 확장현실 응용 기술 2



OpenGL 및 Ray Tracing 기반의 사실적인 실시간 렌더링 기술

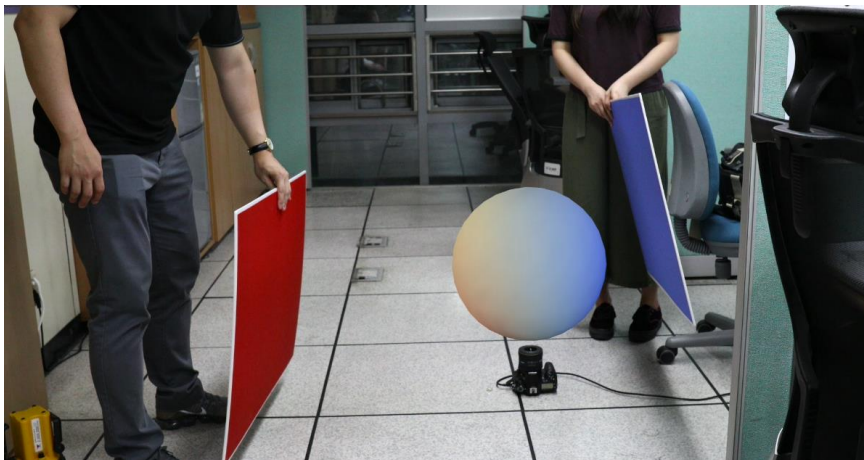


현대 자동차 부품 품질을 위한 증강현실 응용 소프트웨어 제작 사례

# 확장현실 응용 기술 3

- 실 세계와 가상 세계를 효과적으로 합성하기 위한 환경매핑 기술 개발

주변 환경의 전역 조명을 반영한 실시간 증강현실 렌더링 기술 개발

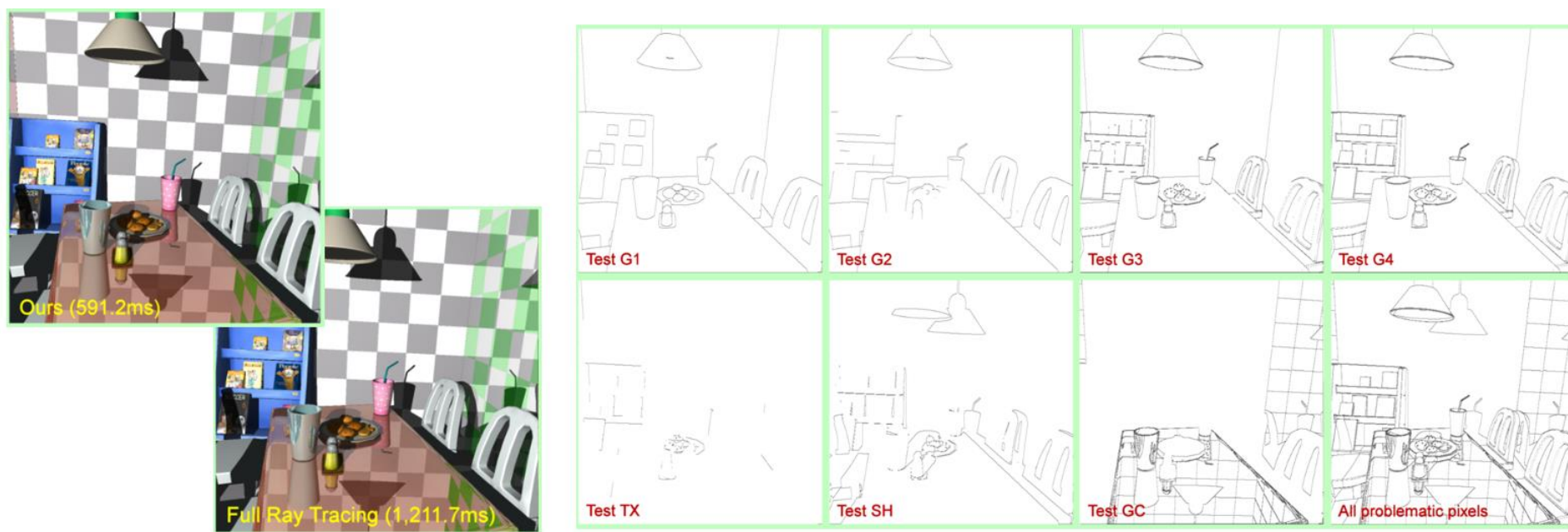




# GPGPU 가속 기술 1: 모바일 GPU 기반

- 모바일 기기 상에서의 고속 광선 추적을 위한 Undersampling 기술

화질 저하를 최소화 하는 적응적 모바일 Ray Tracing 기술 개발

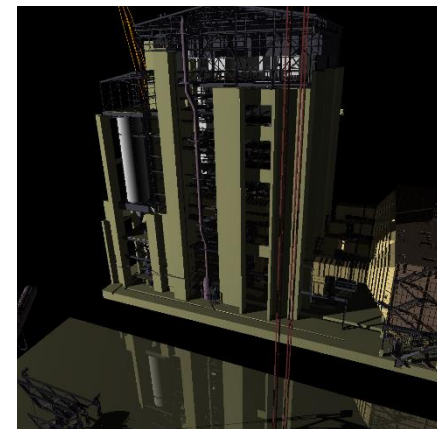
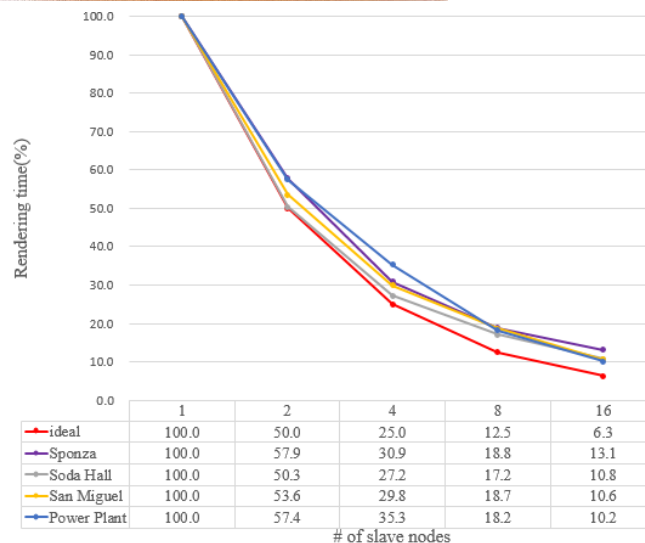
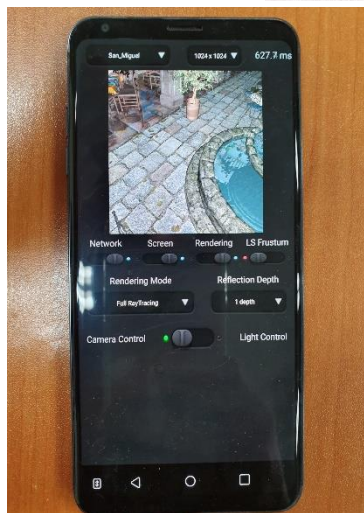
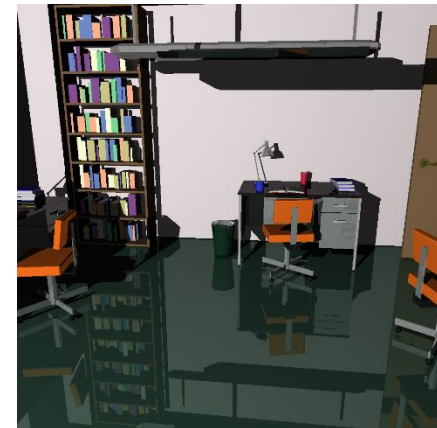


7개의 조건 검사를 통한 문제 픽셀 추출 및 렌더링 속도 향상 결과

# GPGPU 가속 기술 2: 모바일 GPU 기반

- 모바일 클러스터를 활용한 광선 추적 렌더링 시스템

모바일 클러스터 기반의 분산 광선 추적 및 가시화 기술 개발



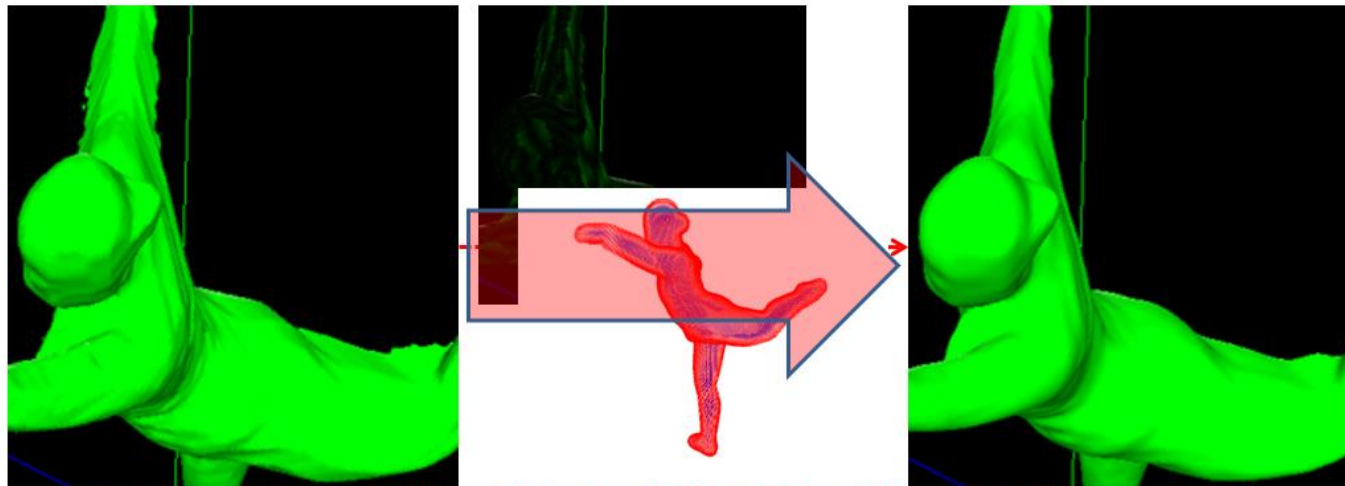
# GPGPU 가속 기술 1: 데스크탑 GPU 기반

- 다중 촬영 영상에 대한 고속의 GPU 기반 Visual Hull 구축 기술

다수의 RGB 카메라 동영상에 대한 실시간 3D 모델 생성 및 움직임 추출 기술 개발



촬영 영상에서 추출한 외곽선 데이터를 통한 3차원 기하 모델 생성



노이즈 제거를 위한 오차 측정 및 등위 집합 기반 메쉬 스무딩



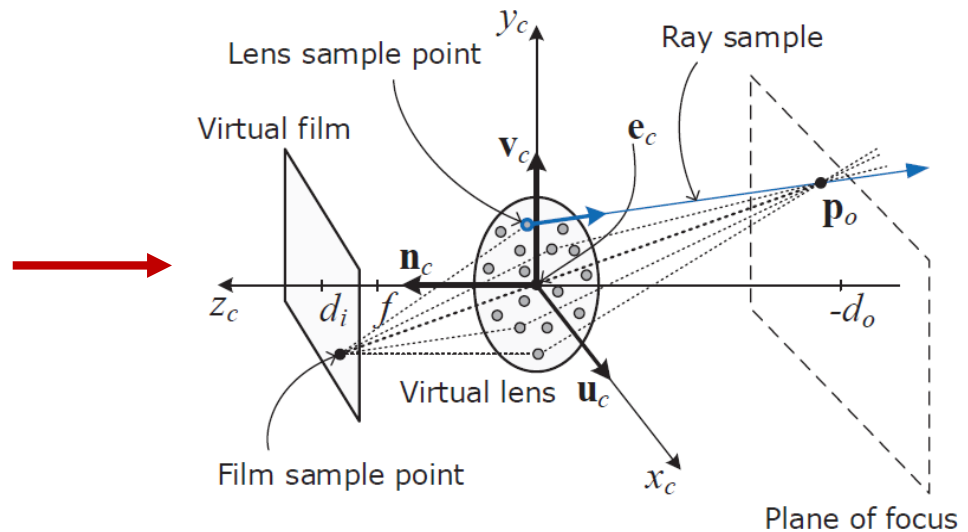
# GPGPU 가속 기술 2: 데스크탑 GPU 기반

- 라이트 필드 카메라 구축 및 라이트 필드 데이터 처리 기술

Raspberry Pi 클러스터 시스템을 활용한 라이트 필드 카메라 제작 및 기반 소프트웨어 개발

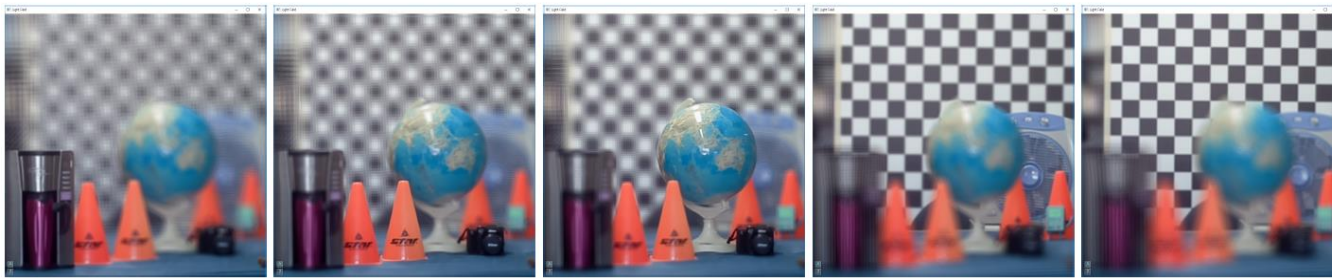


라이트 필드 카메라

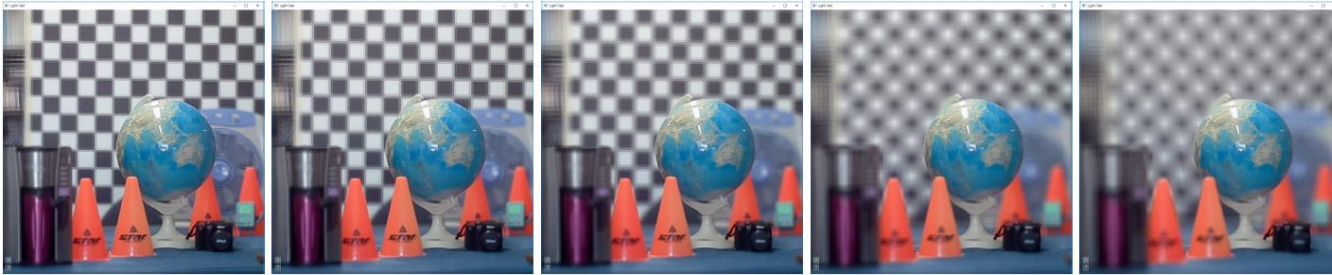


촬영된 이미지로부터  
가상 카메라 계산

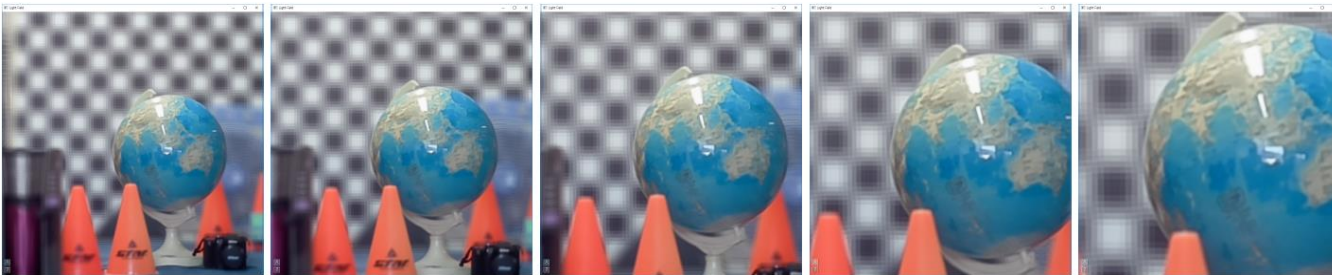




가상 카메라의 재초점



Depth-of-Field



가상 카메라의 확대



가상 카메라의 이동