

# 移动增强现实系统的设计 与应用案例解析

---

章国锋

浙江大学**CAD&CG**国家重点实验室



# 内容

---

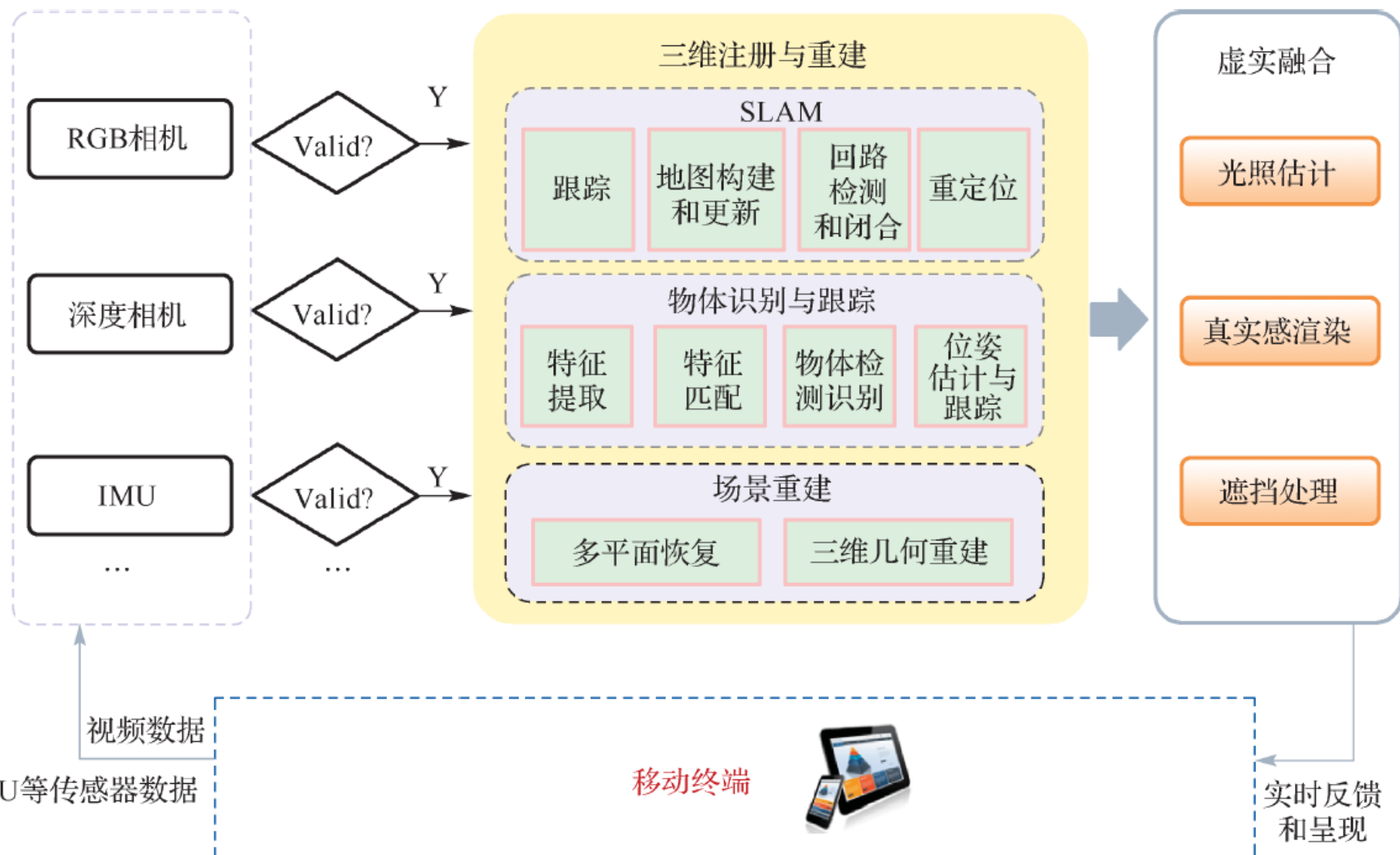
- 整体框架设计
- 应用案例解析

# 整体框架

---

- 整体框架
  - 输入数据
    - IMU、图像数据、深度数据、时间戳、校正数据
  - 三维注册
    - SLAM、物体识别与跟踪、三维重建
  - 虚实融合
    - 光照估计、真实感绘制、遮挡处理、阴影投射

# 整体框架

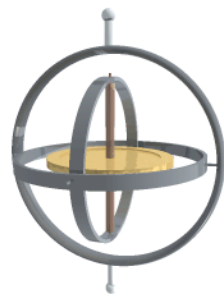


# 整体框架-输入数据

---

- IMU数据

- Time stamp
- Acceleration
- Angular velocity



- 图像数据

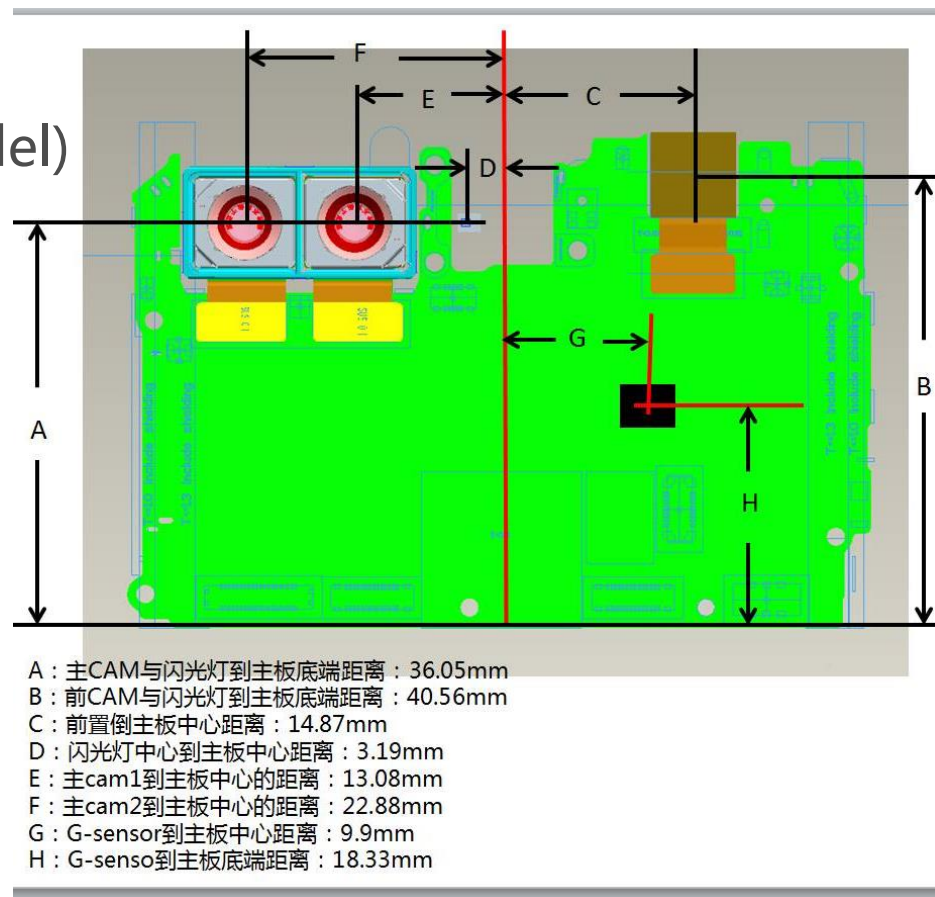
深度数据

- Time stamp
- Exposure time
- RGB
- Depth



# 整体框架-输入数据

- 校正数据：
  - Camera校正参数(Pinhole Model)
    - Projection:  $f_x, f_y, c_x, c_y$
    - Distortion:  $k_1, k_2, k_3, k_4$
  - IMU校正参数
    - Bias, Scale, Misalignment
    - Noise, Bias noise
  - 外参
    - Rotation, Translation
    - Time offset



# 整体框架-三维注册与重建

---

- SLAM
  - 设备相对于场景的位姿
- 物体的识别与跟踪
  - 物体注册
- 三维重建
  - 物体三维重建
  - 场景三维重建

# 三维注册-SLAM

---

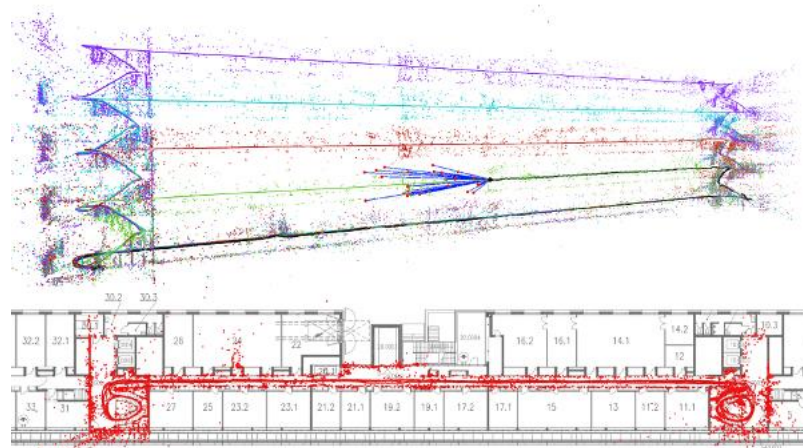
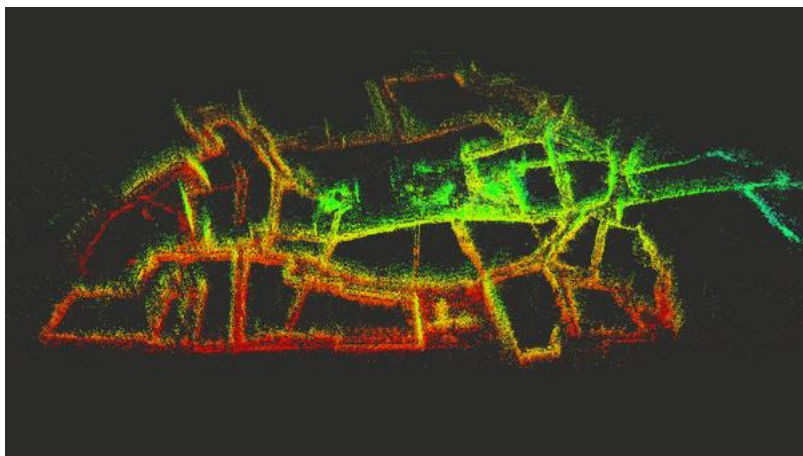
- 相机跟踪
  - 包括特征提取与匹配，以及相机位姿估计
  - 为了实时性，特征跟踪一般放在前台线程
  - 有可靠的IMU数据
    - 直接通过积分得到位姿
    - 特征提取与匹配可以放到后台线程执行，以相对较低的频率(如10Hz)矫正IMU和相机的状态。



# 三维注册-SLAM

- 地图创建和更新

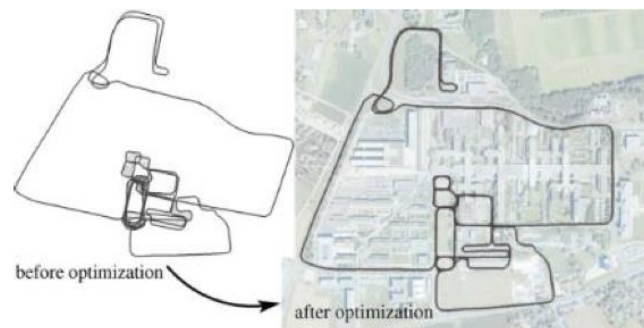
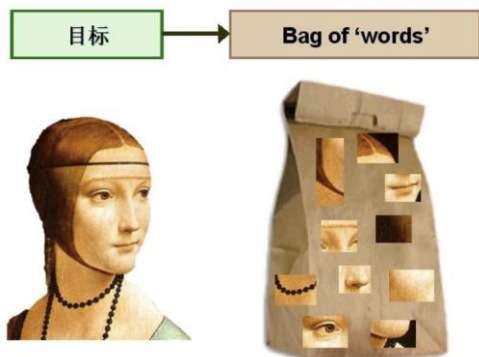
- 加入新的关键帧或删除旧的关键帧
- 优化关键帧的位姿和地图点的三维
- 三角化出新的三维点云
- 保证比较频繁、快速的地图优化
  - 局部优化：滑动窗口：优化当前帧相邻关键帧和三维点
  - 全局优化：更好地消除累积误差
- 在线删除关键帧和三维点，避免系统资源开销太大



两图来自：<https://github.com/ethz-asl/maplab>

# 三维注册-SLAM

- 回路检测和闭合
  - 检测当前帧的图像是不是跟之前的某一帧图像（一般是关键帧）存在相同的内容
    - 词袋技术：需要字典树文件（比较大，几十到上百M），移动 App 开发难以接受。
    - 在线建词汇树或KD-Tree的方式
  - 检测到回路之后，通过集束调整或位姿图优化来消除误差累积，实现回路的闭合。



左图来自: <https://gilscvblog.com/2013/08/23/bag-of-words-models-for-visual-categorization/>

右图来自: Grisetti G, Stachniss C, Burgard W. Nonlinear constraint network optimization for efficient map learning[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, 10(3): 428-439.

# 三维注册-SLAM

---

- 重定位

- 跟踪难免会失败，当跟踪失败之后需要快速地重新确定相机的位置
  - PTAM：通过度量当前帧和关键帧的缩略图的相似度来进行重定位
  - ORB-SLAM：通过提取 ORB 特征并借助预先构建词袋字典树来进行快速的候选帧选取和特征匹配
  - 深度学习：对光照变化有更好的容忍度

# 三维注册-三维物体识别与跟踪

---

- 三维物体识别与跟踪
  - 特征提取
    - 平面标志物
      - 人工标志：特征点或轮廓边
      - 自然标志物：特征点
    - 三维物体
      - 特征点和描述子
      - 图像边缘信息
      - 前景和背景的先验概率

# 三维注册-三维物体识别与跟踪

---

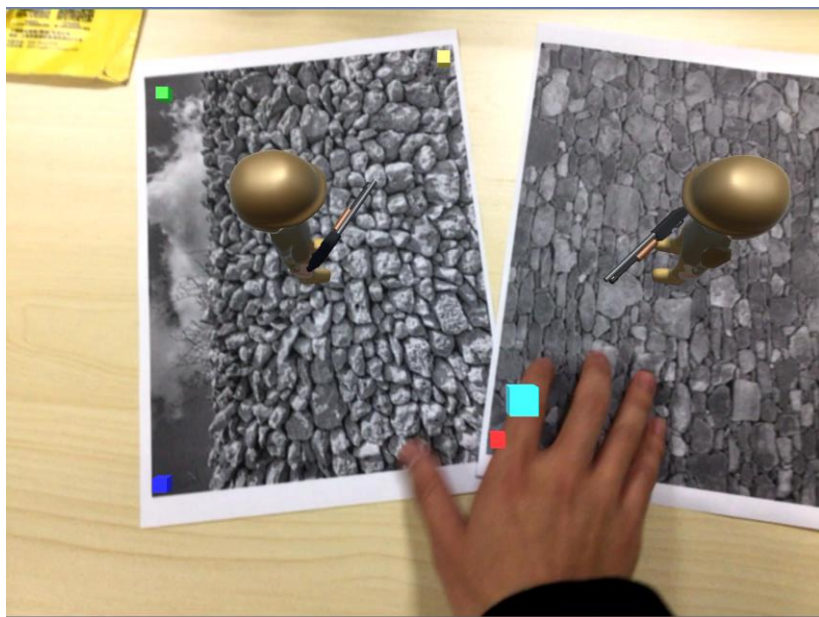
- 特征匹配
  - 特征点法
    - 二进制描述子代替SIFT描述子
    - 近似最近邻匹配方法(如 k-d 树) 加速匹配
  - 纹理较丰富的三维物体
    - 借助特征点匹配来建立所提取的特征点与数据库的对应关系
  - 弱纹理物体
    - 利用颜色先验模型来计算跟踪对象的前景背景的概率图，进而利用前背景的区域性先验信息估算出跟踪对象的区域信息。

# 三维注册-三维物体识别与跟踪

---

- 三维物体识别与跟踪
  - 物体检测识别
    - 平面标志的检测识别： 图像检索技术（词袋技术、VLAD）
    - 三维物体： 纹理丰富（词袋技术）、纹理较弱（深度学习）
  - 物体位姿估计与跟踪
    - 纹理丰富的三维物体： 特征点匹配得到2D-3D点匹配，通过PnP计算相对位姿
    - 缺乏纹理的三维物体： 物体识别估计初始位姿，迭代优化目标函数（对齐三维物体投影边和图像边缘）跟踪求解
    - 平面标志物： 单应性矩阵分解得到位姿

# 三维注册-三维物体识别与跟踪



平面标志的识别与跟踪

三维物体跟踪



# 三维注册-三维重建

---

## ■ 多平面重建

- 稀疏点云  $\longrightarrow$  水平和垂直平面

## ■ 稠密几何重建

- 多视图实时深度估计
- 在线渐增式稠密三维点云拓展
- 在线稠密网格结构生成



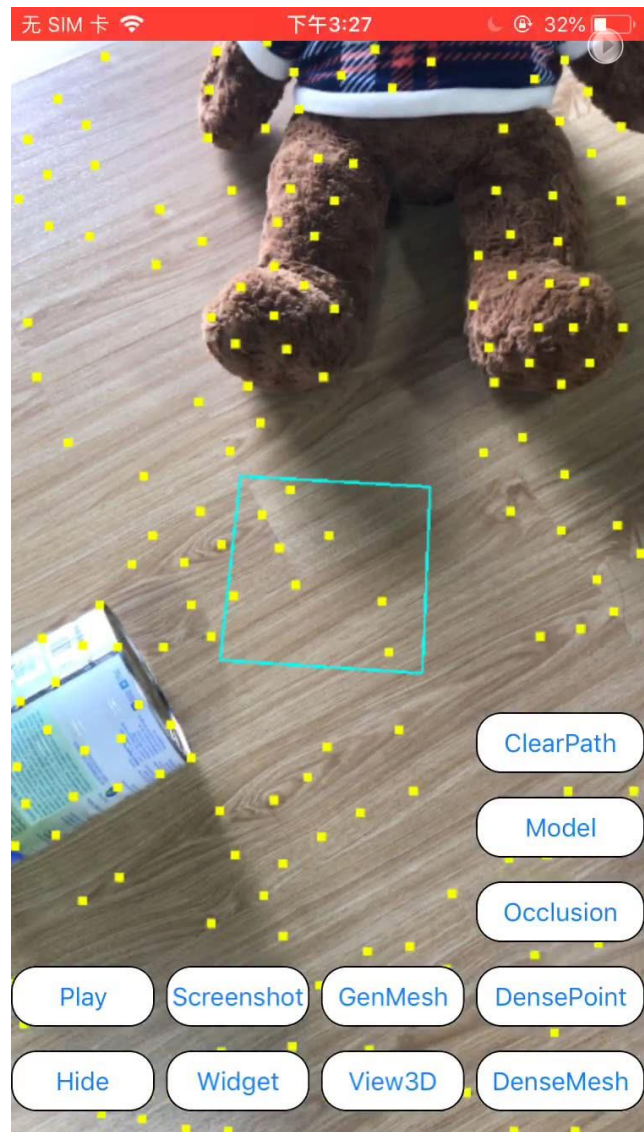
# 三维注册-三维重建

## 多平面重建



# 三维注册-三维重建

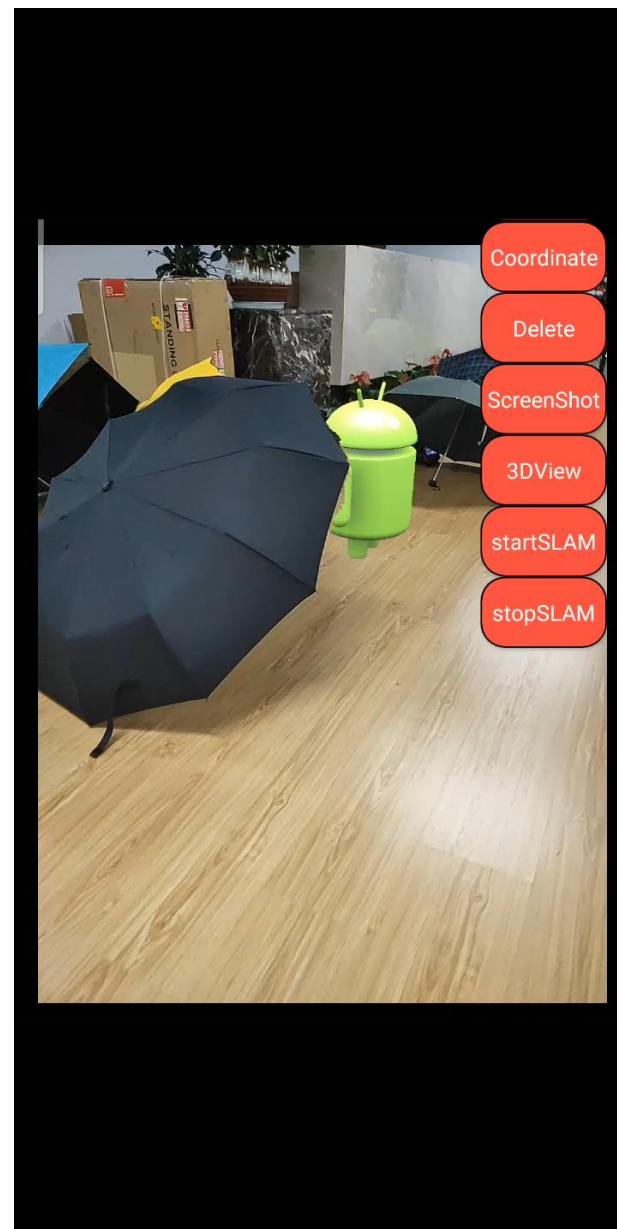
## 稠密几何重建





# 整体框架-虚实融合

- 光照估计
  - 亮度估计
  - 全局光估计
- 绘制引擎
  - 真实感绘制
  - 遮挡处理
  - 阴影投射



# 虚实融合-光照估计

---

- 亮度估计
  - 根据场景的平均亮度计算环境光
- 全局光估计
  - 计算出用于表达全局光信息的球谐系数，然后根据球谐系数来估计光照亮度信息

# 光照估计-亮度估计

---

- 单一亮度值估计



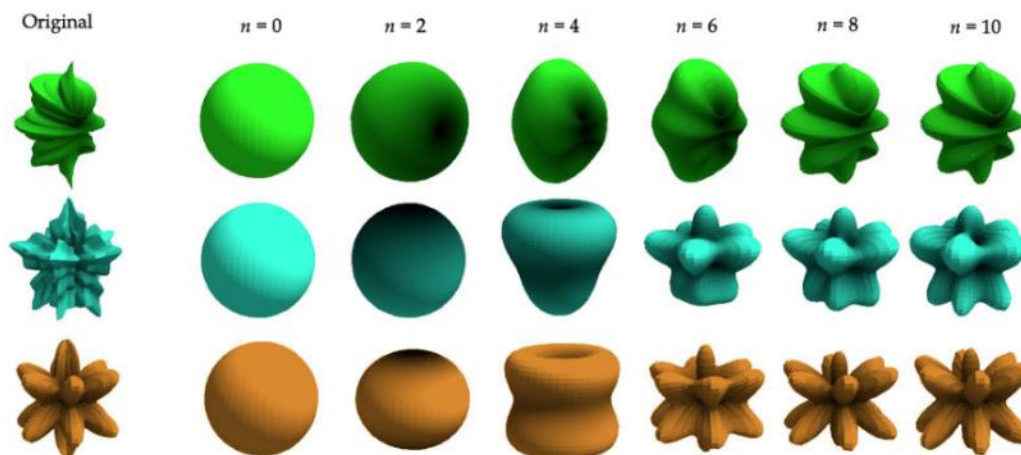
# 光照估计-全局光估计

- 球谐光照系数估计

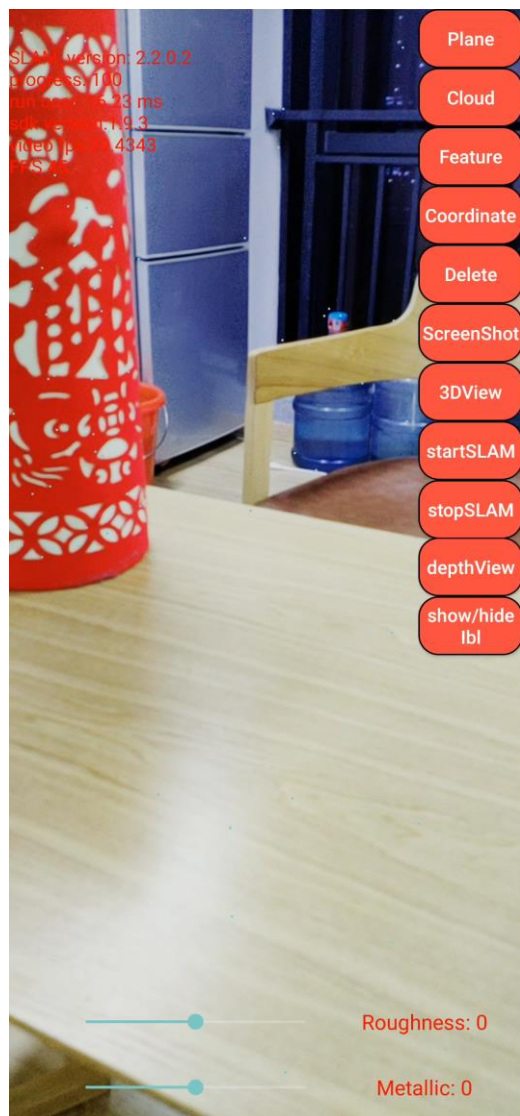
光照模型 
$$L(\mathbf{x}, \bar{\omega}_o) = L_e(\mathbf{x}, \bar{\omega}_o) + \int_S f_r(\mathbf{x}, \bar{\omega}_i \rightarrow \bar{\omega}_o) L(\mathbf{x}', \bar{\omega}_i) G(\mathbf{x}, \mathbf{x}') V(\mathbf{x}, \mathbf{x}') d\omega_i$$

球谐系数 
$$Y_l^m(\theta, \phi) = \begin{cases} \sqrt{2} K_l^{-m} P_l^{-m}(\cos(\theta)) \sin(-m\phi) & \text{if } m < 0 \\ K_l^0 P_l^0(\cos(\theta)) & \text{if } m = 0 \\ \sqrt{2} K_l^m P_l^{|m|}(\cos(\theta)) \cos(m\phi) & \text{if } m > 0 \end{cases}$$

阶数越多表达细节更丰富



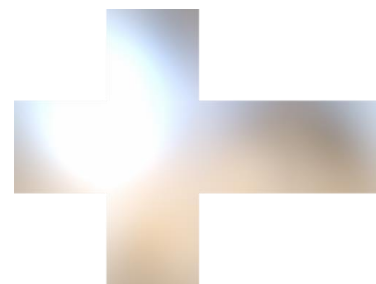
# 光照估计-全局光估计



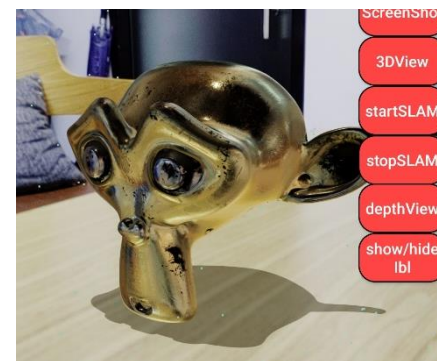
- 绘制元素升级和加速 (OpenCL)
  - IBL环境图
  - 主光源
  - SH系数
  - PBR绘制效果
  - 异步更新逻辑



环境图  $64 * 64 * 6$



Irradiance Map  $9*3$ 个系数



PBR绘制效果 IBL+主光源

# 虚实融合-渲染引擎

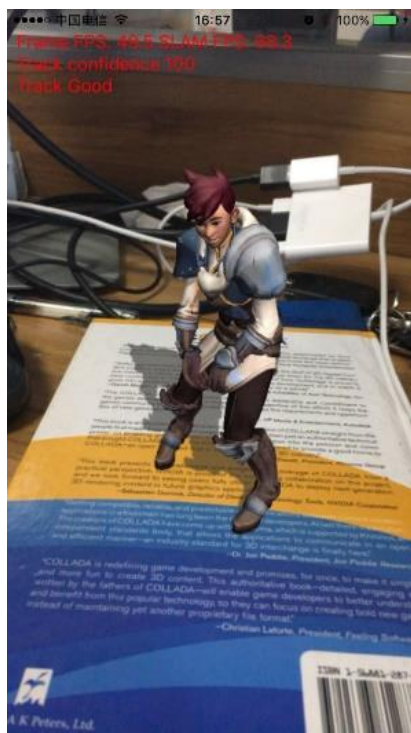
---

- **绘制引擎**
  - 真实感绘制
  - 平面遮挡处理
  - 复杂遮挡处理
  - 平面阴影投射
  - 复杂阴影投射



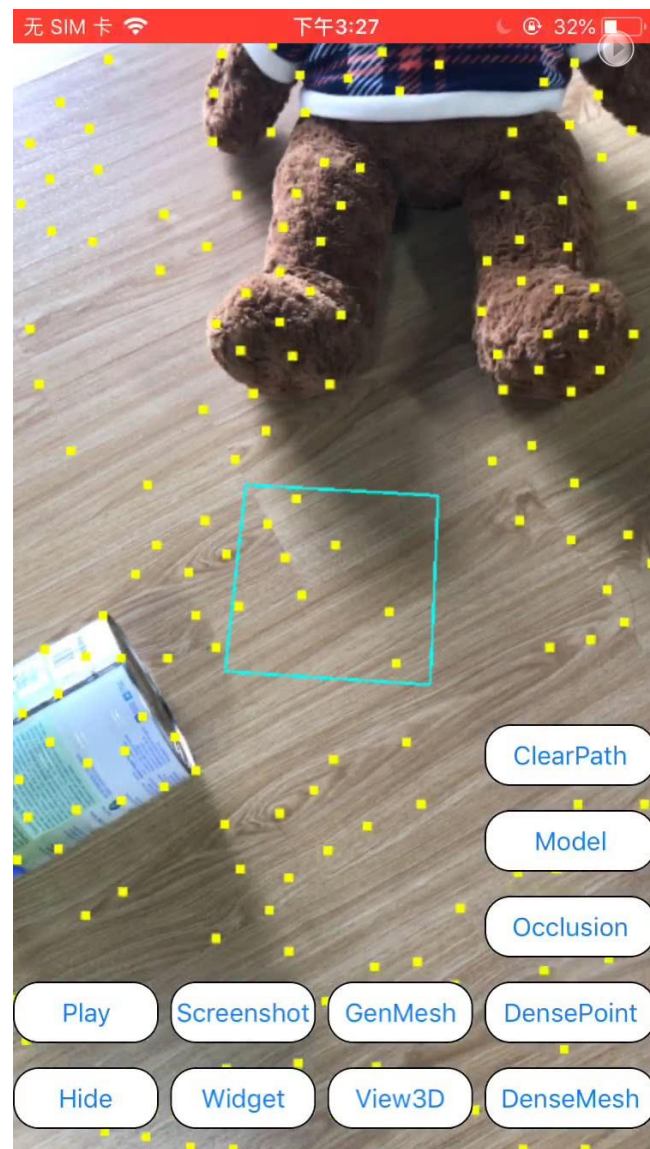
# 渲染引擎-真实感绘制

- 粒子效果、凹凸贴图、环境贴图、阴影、光照



# 渲染引擎-遮挡信息处理

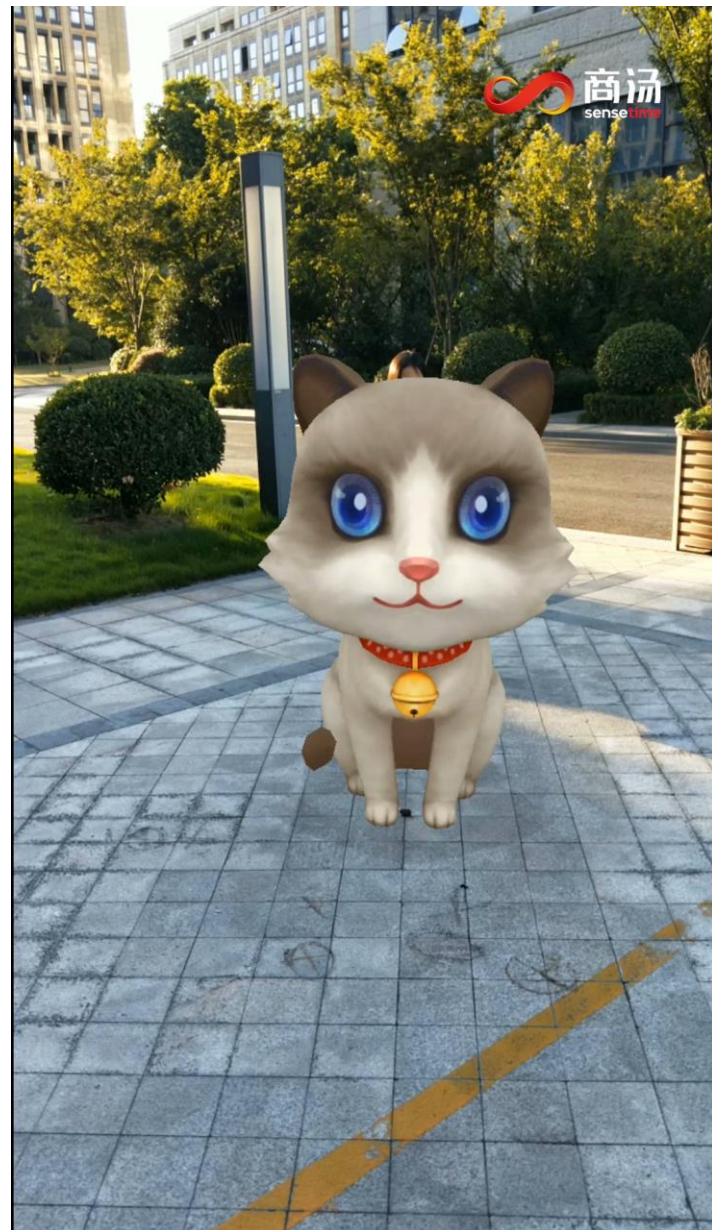
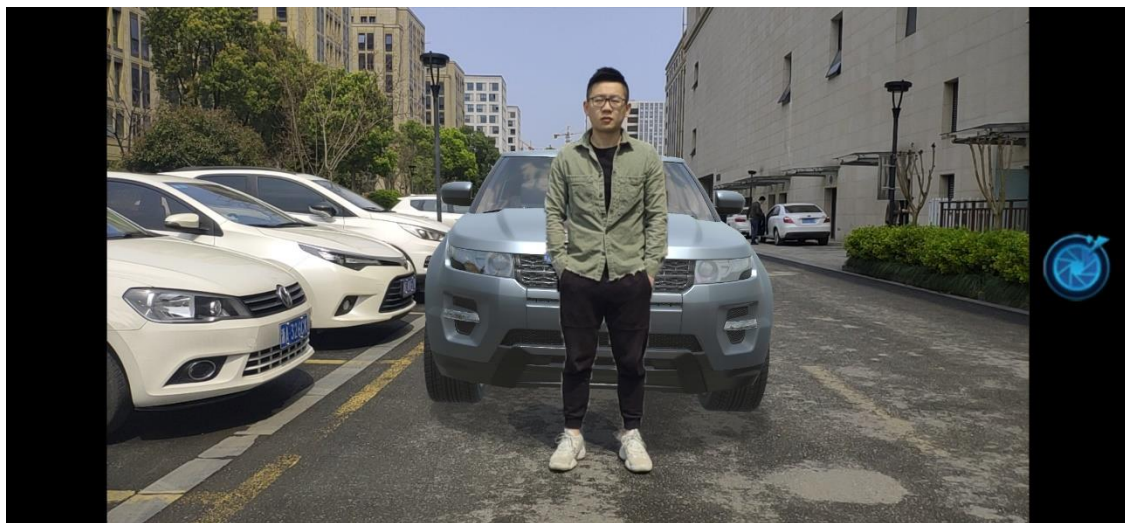
- 基于三维重建的遮挡处理
  - 绘制三维重建出的网格深度;
  - 绘制场景中的其他用于增强现实的虚拟模型。





# 渲染引擎-遮挡信息处理

- 基于人像抠图的遮挡处理
  - 人像抠图
  - 人的深度估计



# 渲染引擎-阴影绘制

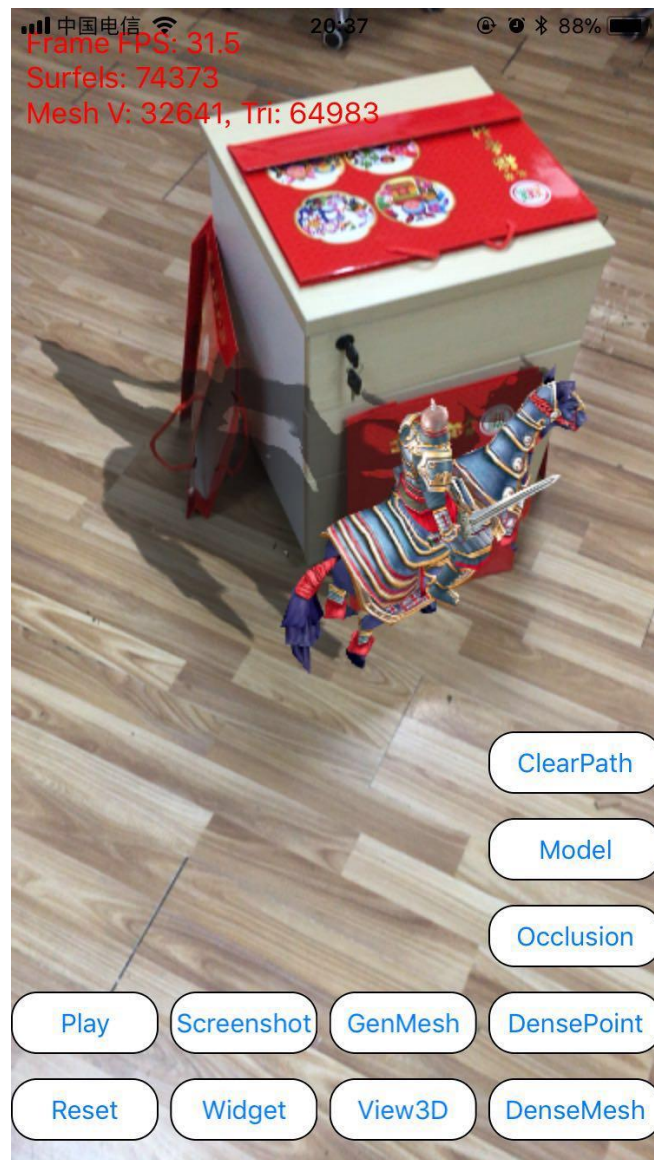
- 平面阴影投射
  - 把虚拟物体绘制到shadow map中。
  - 绘制物体放置所在的虚拟平面，采用shadow map算法，阴影内的输出阴影颜色，阴影外的采用全透明绘制。





# 渲染引擎-阴影投射

- 复杂阴影投射
  - 把虚拟物体绘制到shadow map中。
  - 绘制重建出的网格，采用shadow map算法，阴影内的输出阴影颜色，阴影外的采用全透明绘制。



# 应用案例解析

---

- 教育类产品
- AR游戏
- AR旅游
- 工业应用

# 教育类产品

- AR早教卡
- AR涂色绘本
- AR早教机
- ...



AR+地理



AR+画画

**ARKIDS.CARDS**  
INTERACTIVE EDUCATIONAL  
APPLICATIONS WITH  
AR ELEMENTS

**AR**

MATHEMATICS  
ANATOMY  
PHYSICS  
PROGRAMMING  
GEOGRAPHY

## Interactive educational applications with AR elements

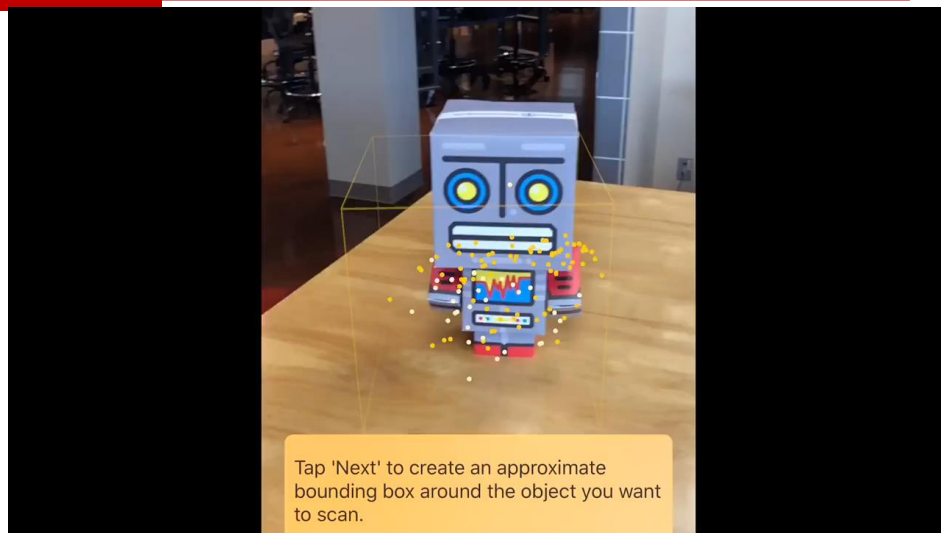
Ideal for distance learning and visualization of school course that is approved by the Ministry of Education

AR+交互卡

# 教育类产品

## 技术点

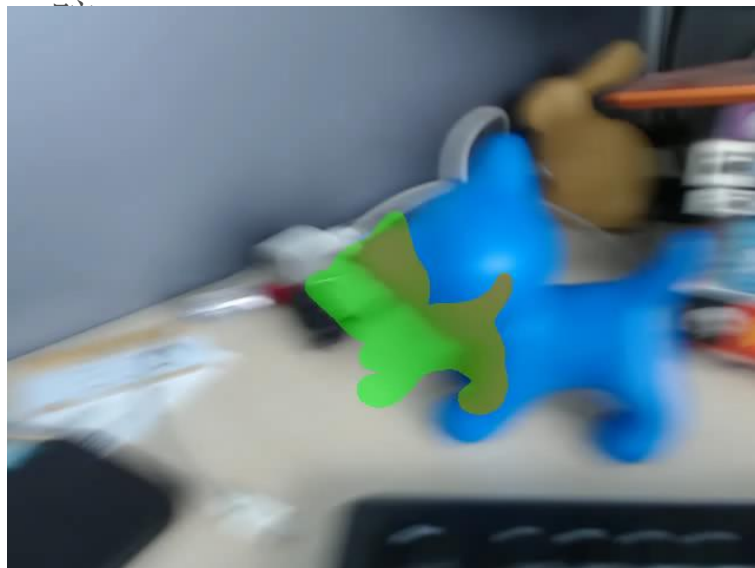
- 标志物识别
- 三维物体检测与跟踪



纹理丰富的三维物体检测与跟踪



平面标志物的跟踪



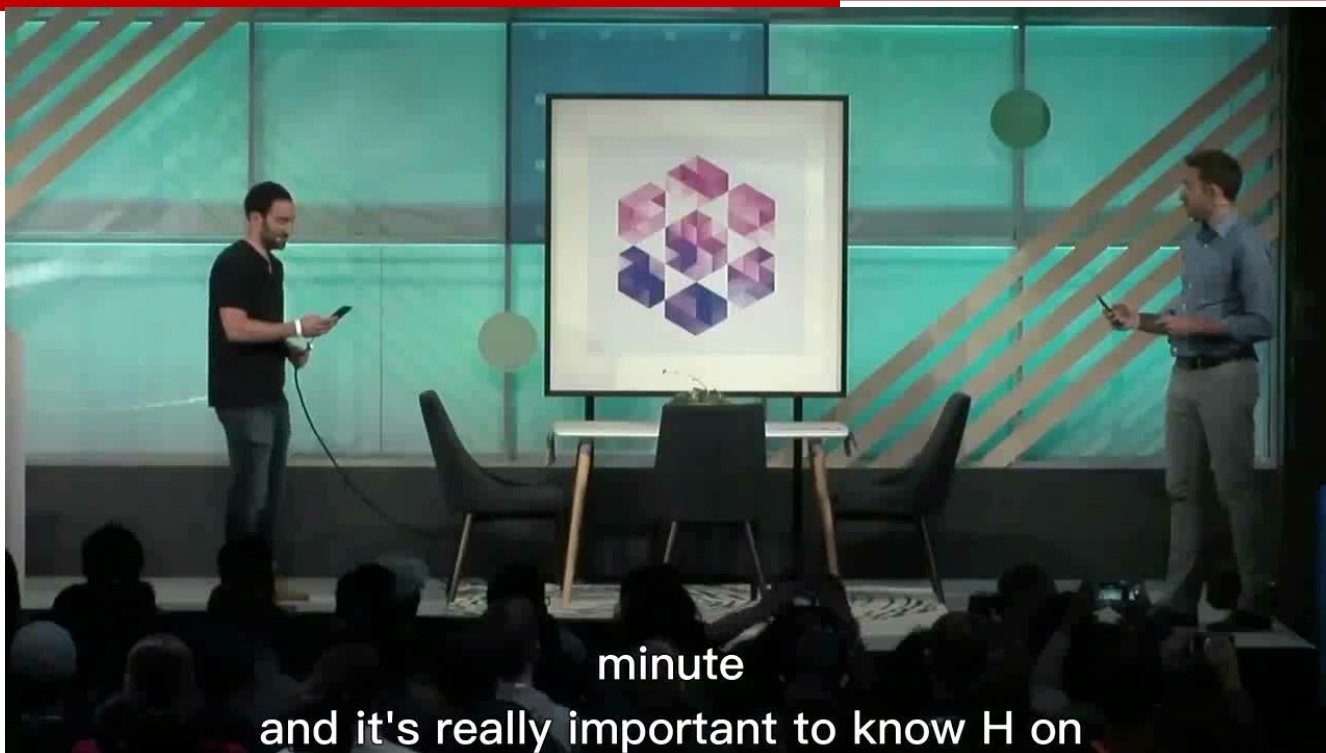
弱纹理的三维物体检测与跟踪



# 游戏

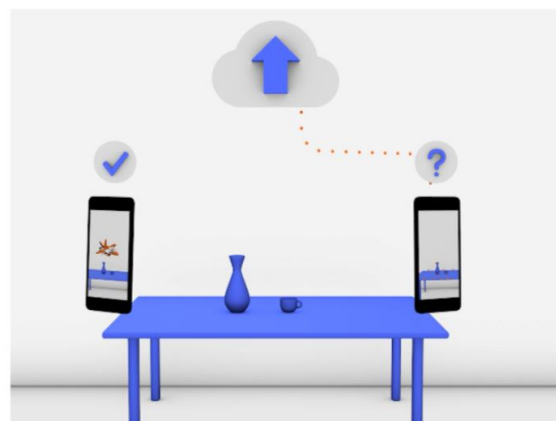


# 多人共享游戏：云锚点多人共享



手机 A 扫描场景，将锚点信息上传云端

ARCore云存储  
多人协作



手机 B 从云端取得云锚点实现多人协作

# 多人共享游戏：云锚点多人共享





# AR旅游

- AR合影
- AR导航
- 古迹恢复
- ...



人与虚拟车合影

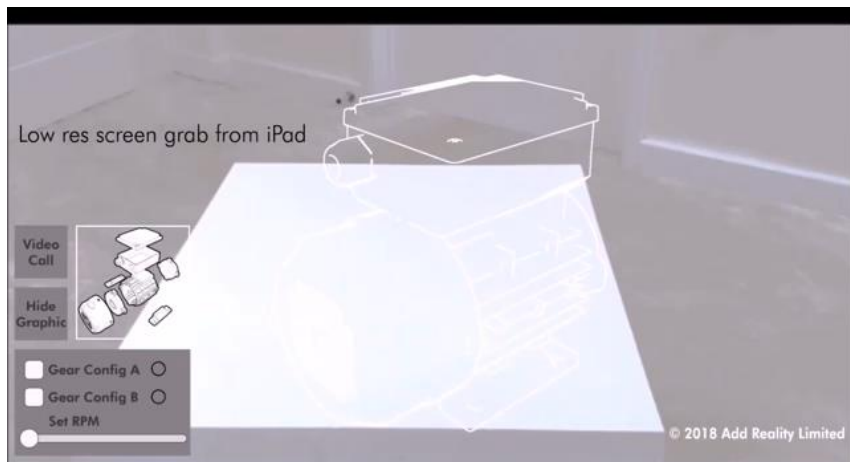


AR导航

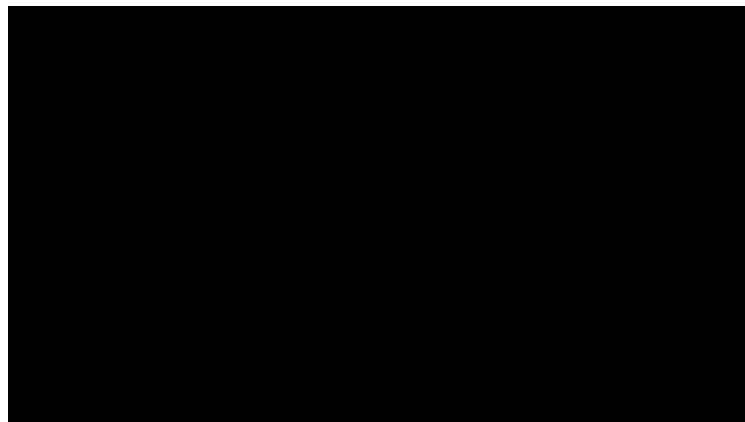


AR复现九城门

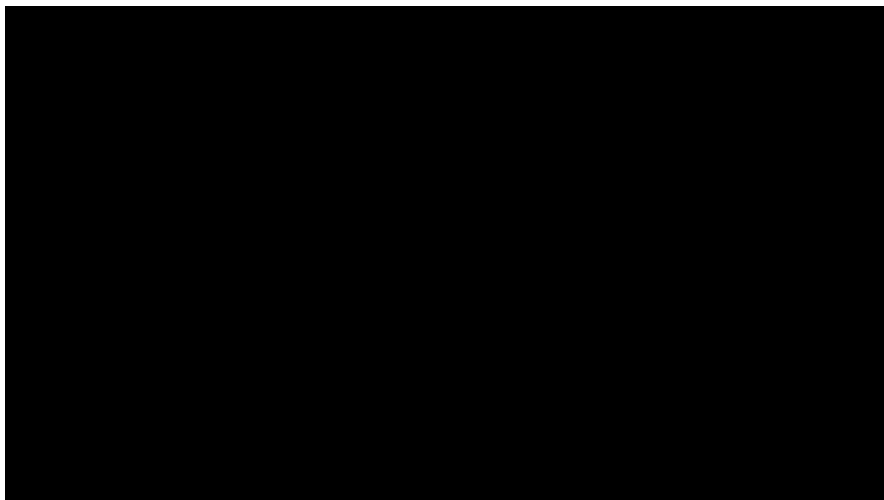
# 工业应用



AR说明书



电梯维修



汽车维修



建筑施工