面向移动终端的CFD仿真增强现实可视化方法

林佳瑞，助理研究员

清华大学土木系

lin611@tsinghua.edu.cn

2019/05/26

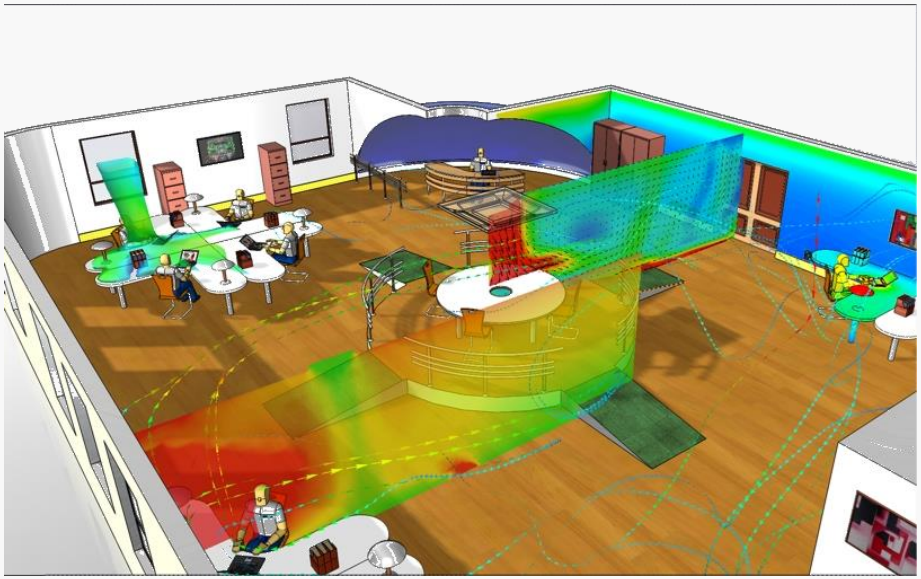
内容提纲

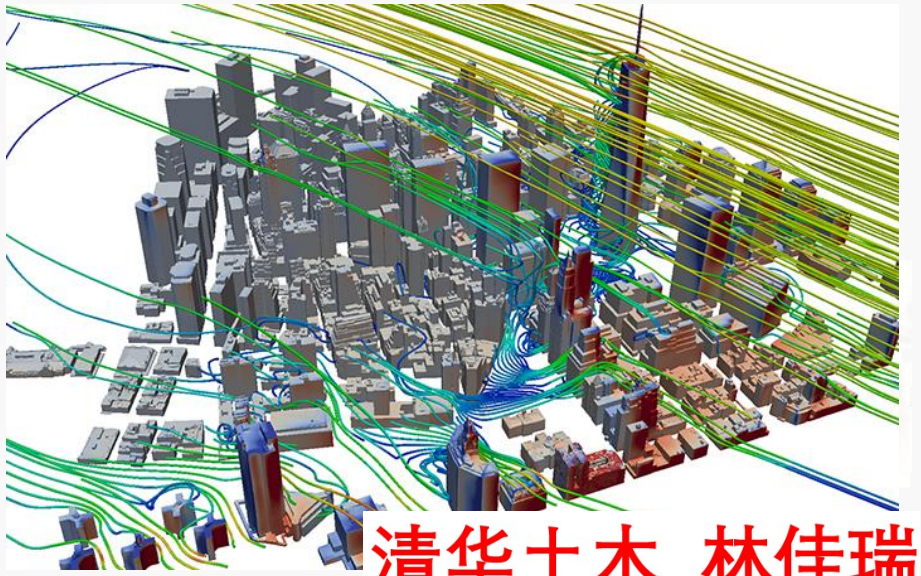
- 研究背景
- 研究目标
- 整体方案
  - 移动终端友好的数据格式
  - 数据预处理方法
  - 数据服务API
  - 增强现实交互方法
- 应用验证
- 总结展望

清华土木 林佳瑞

研究背景

- 计算流体力学（CFD）仿真
  - 广泛应用于室内温度场、火灾及室外环境分析等
  - 仿真建模及数据解读均依赖专业知识
  - 仿真结果的交流、沟通效率较低
  - 仿真输出数据量巨大





清华土木 林佳瑞

研究背景

- 增强现实（AR）
  - 虚拟现实技术的升级，真实世界之上叠加虚拟数据
  - 实现对真实环境的增强，更直观、互动性更好
  - 可视化运算量大，依赖后端服务器支持
- 移动终端
  - 高度便携、计算能力有限，缺乏有效的AR交互手段

清华土木 林佳瑞

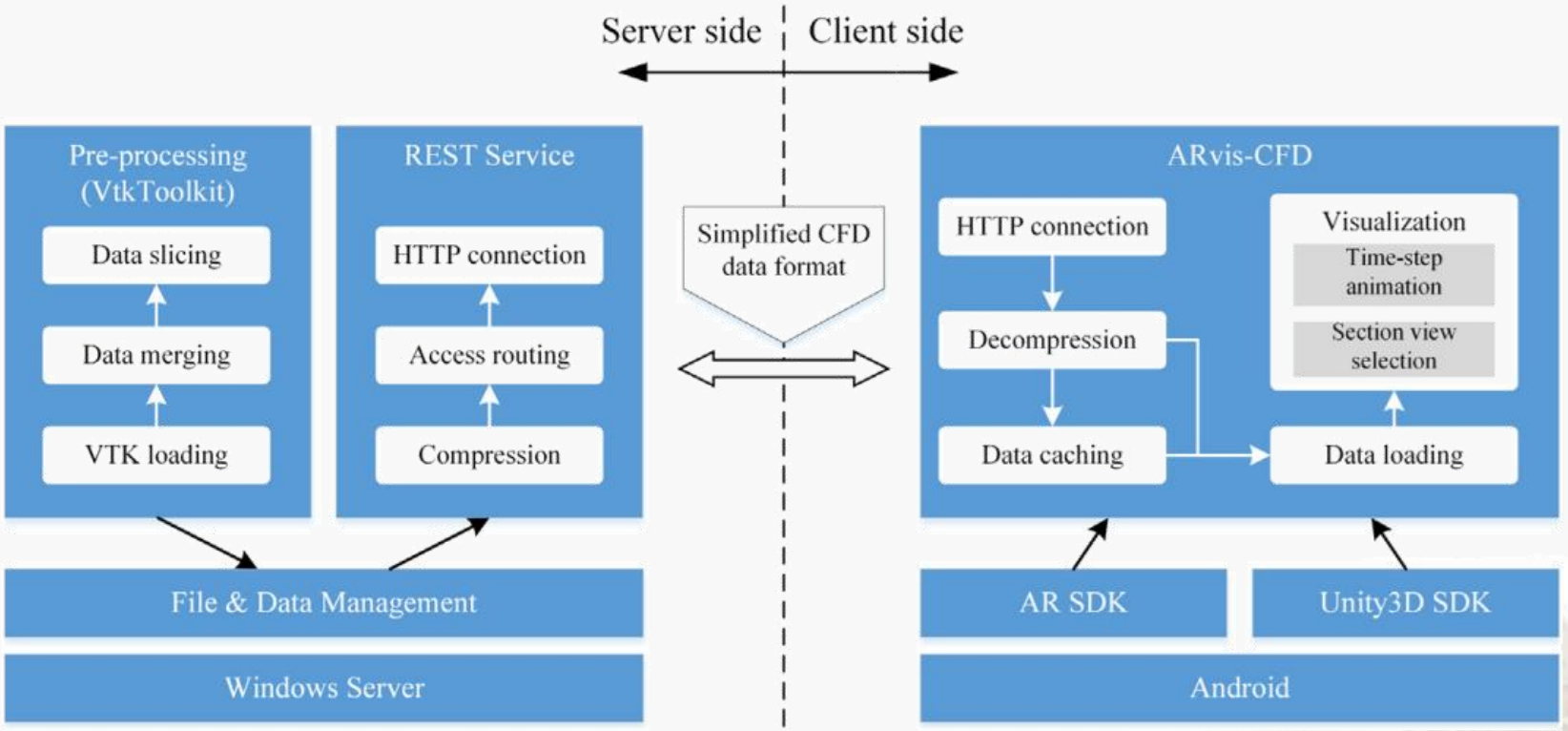
研究目标

- 提升移动终端CFD可视化效率
  - 降低移动端计算负载：加载快、计算量小
  - 充分利用服务端计算：预处理、缓存
  - 面向移动端的数据格式：冗余小
- 改善CFD增强现实交互方式
  - 快速实现仿真数据定位
  - 直观的交互方式

清华土木 林佳瑞

整体方案

系统框架



整体方案

- cfd4a：移动终端友好的数据格式
  - 已有CFD数据格式的问题

```
# vtk DataFile Version 2.0                    ](1)
Really cool data                              ](2)
ASCII | BINARY                                ](3)
DATASET type                                  ]
...                                           ](4)
POINT_DATA n                                  ]
...                                           ](5)
CELL_DATA n                                   ]
...                                           ]
```

Part 1: Header

Part 2: Title (256 characters maximum, terminated with newline \n character)

Part 3: Data type, either ASCII or BINARY

Part 4: Geometry/topology. *Type* is one of:

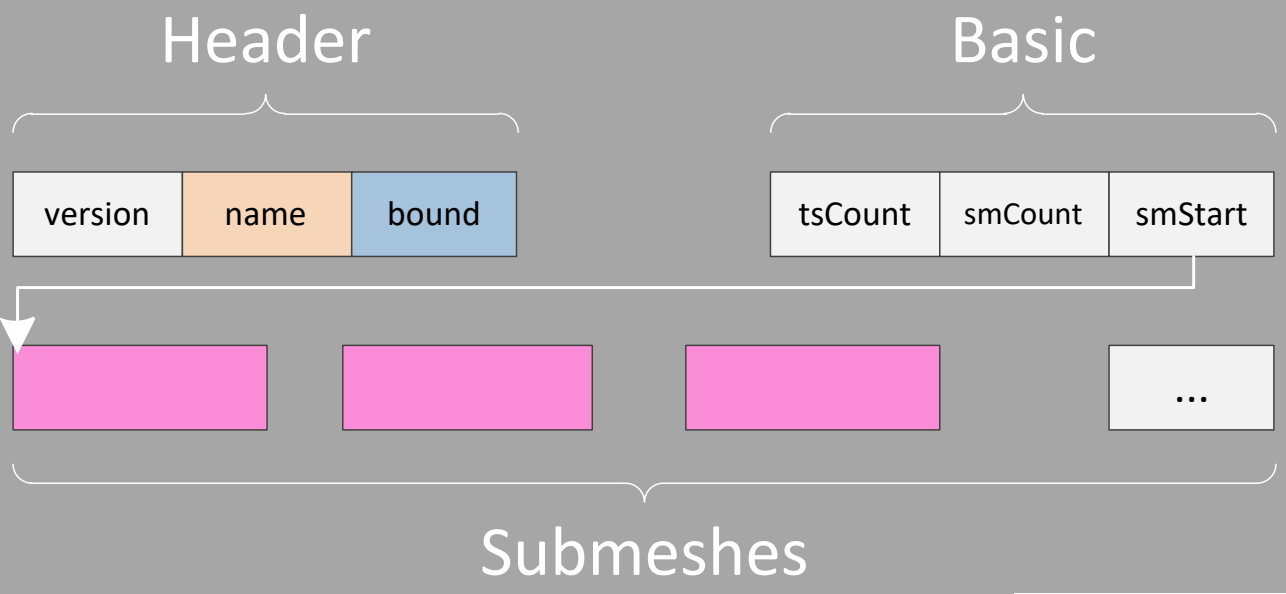
```
STRUCTURED_POINTS
STRUCTURED_GRID
UNSTRUCTURED_GRID
POLYDATA
RECTILINEAR_GRID
FIELD
```

```
DATASET UNSTRUCTURED_GRID
POINTS n dataType
p0x p0y p0z
p1x p1y p1z
...
p(n-1)x p(n-1)y p(n-1)z

CELLS n size
numPoints0, i, j, k, l, ...
numPoints1, i, j, k, l, ...
numPoints2, i, j, k, l, ...
...
numPointsn-1, i, j, k, l, ...
```

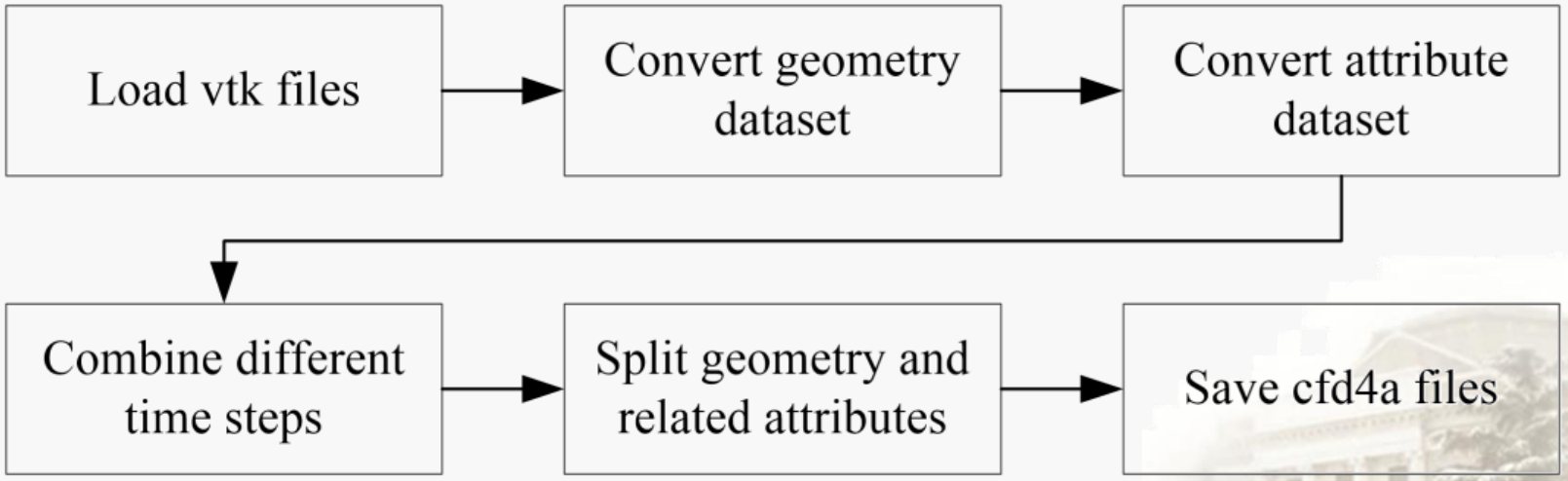
整体方案

- cfd4a：移动终端友好的数据格式
  - 已有CFD数据格式的问题
  - 移动终端的要求与限制（数据格式、数据大小）



整体方案

- 数据预处理算法
  - 数据加载与转换
  - 多仿真步数据归并
  - 几何数据拆分



整体方案

云端数据服务

API访问接口设计

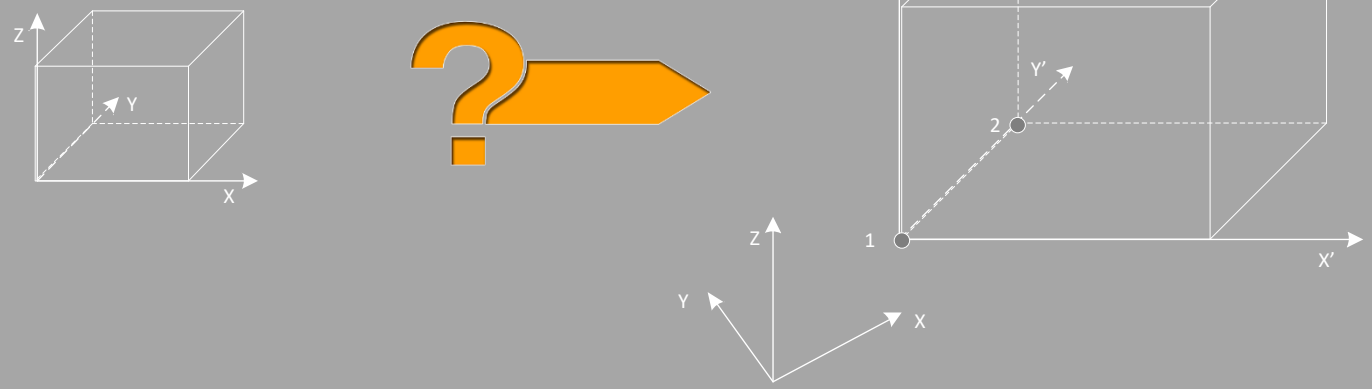
Available RESTful API operations.

Route	Functions	Supported operations
/bim/	list available BIM models	GET
/bim/{id}	manage BIM models	GET, POST, DELETE
/scan	list available point cloud models	GET
/scan/{id}	manage point cloud models	GET, POST, DELETE
/slice	list available slice views	GET
/slice/{id}	manage slice views	GET, POST, DELETE
/tube	list available streamline views	GET
/tube/{id}	manage streamline views	GET, POST, DELETE

数据自动压缩及缓存

整体方案

- 移动端增强现实交互
  - 虚拟数据定位：本质是空间位置变换



$$P_c = (P_1 + P_4)/2$$

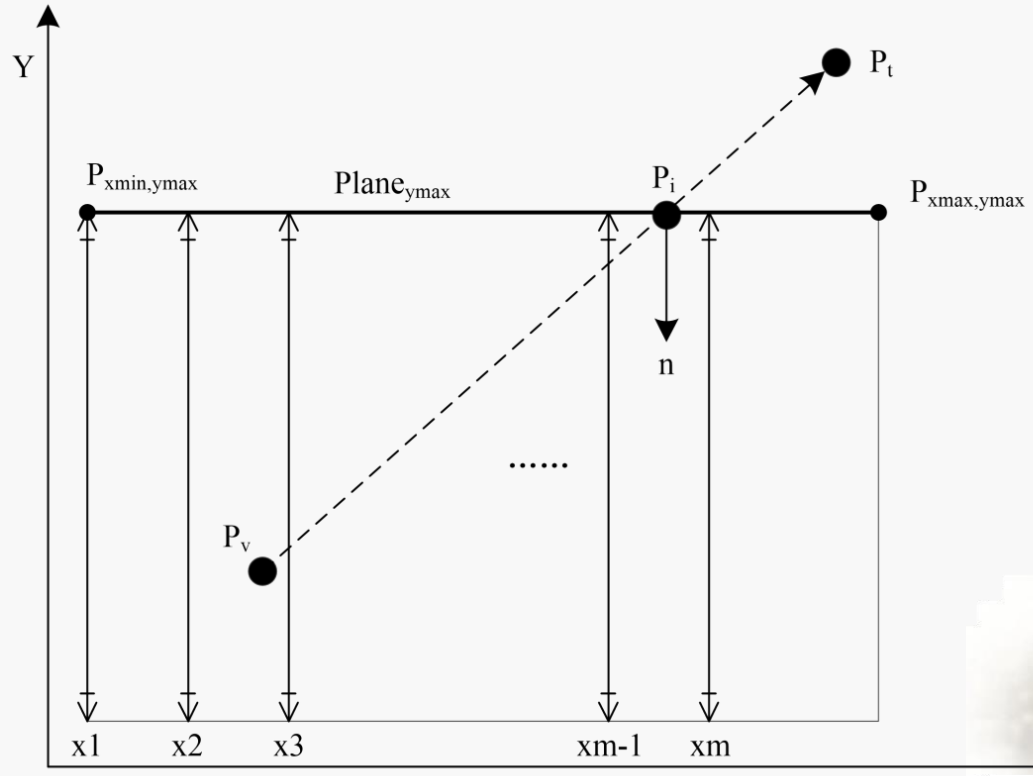
$$S = Distance(P_4, P_1)/L_{diag}$$

$$V_{forward} = Normalize(P_2 - P_1)$$
$$V_{up} = Normalize(P_3 - P_2)$$
$$V_{right} = Normali$$

清华土木 林佳瑞

整体方案

- 移动端增强现实交互
  - 剖面视图自动选择
  - 服务端数据预计算及缓存



清华土木 林佳瑞

应用验证

- 案例简介
  - 亚琛工大办公室
  - Revit 2016，ParaView 5.0, openFOAM
  - Google Tango Tablet
  - Unity 3D，NancyFx，C#

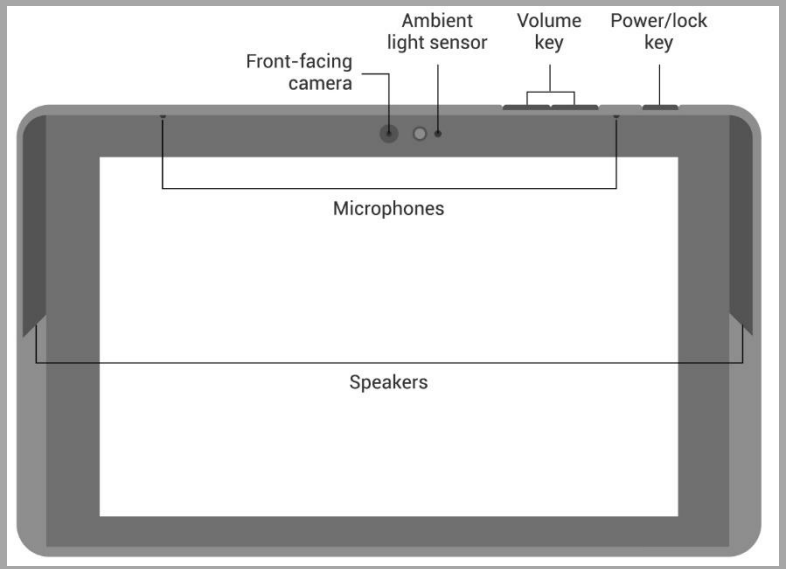
(a) Direction A

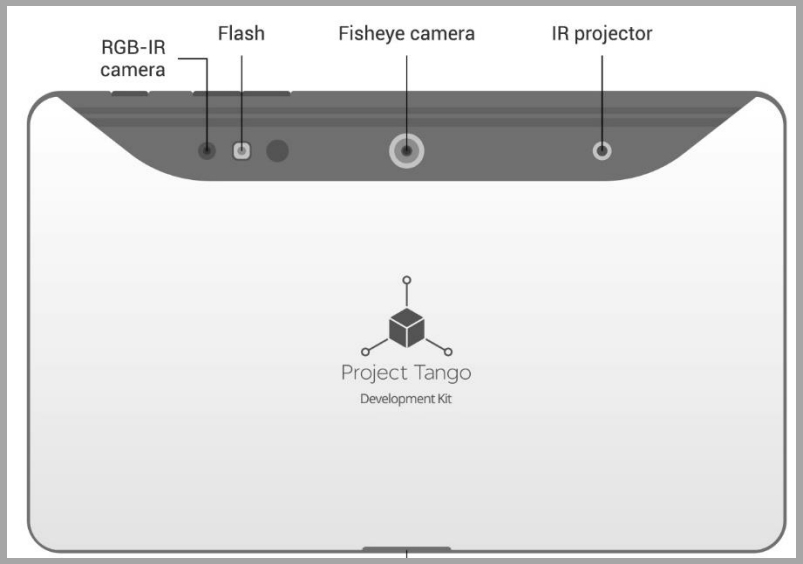
(b) Direction B

应用验证

Tango Tablet

效果图及传感器布置





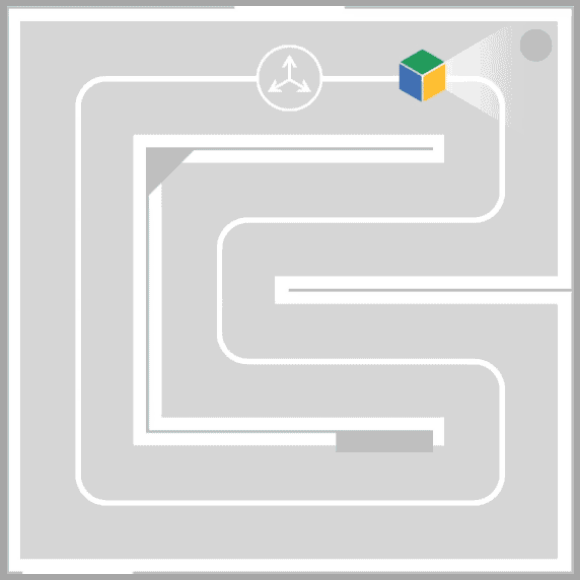
- 运动追踪相机
- 3D 深度感知

- 三轴加速度计
- 环境光传感器

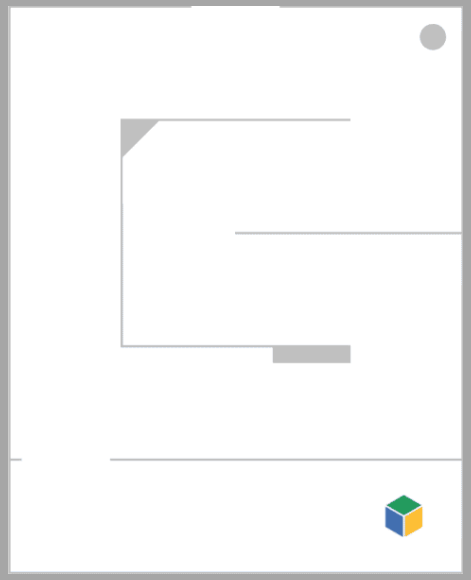
参见：https://docs.google.com/presentation/d/1sNpatcSJmaLnTjYweVHdY5Xh-SBH2

应用验证

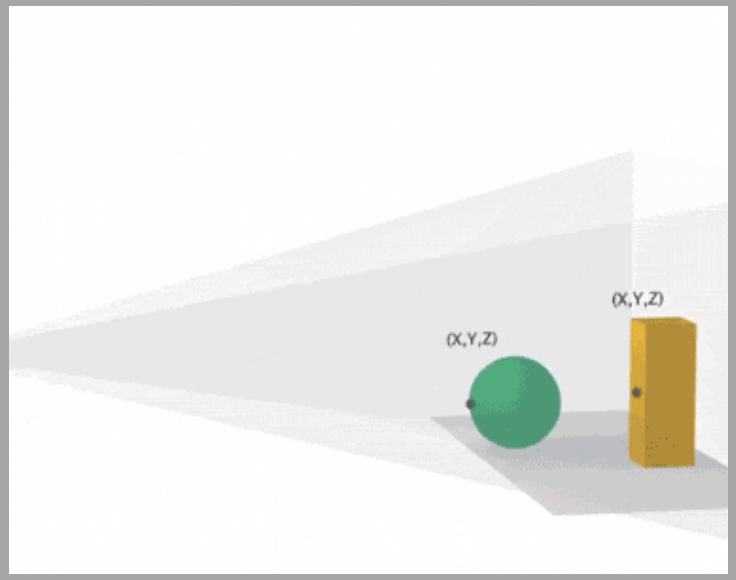
- Tango Tablet
  - 效果图及传感器布置
  - 主要特点



Motion Tracking
6 DOF real time tracking



Area Learing
Remember visual features



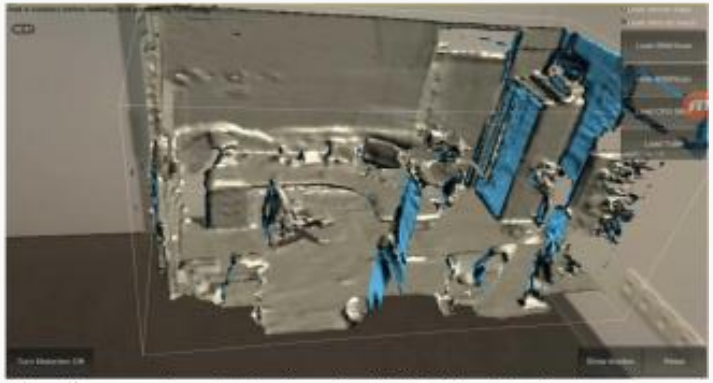
Depth Perception
Capture distance to physical objects

应用验证

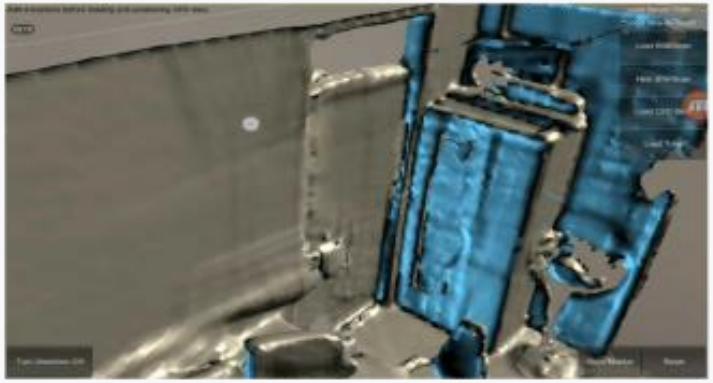
清華大學 Tsinghua University

APP操作流程

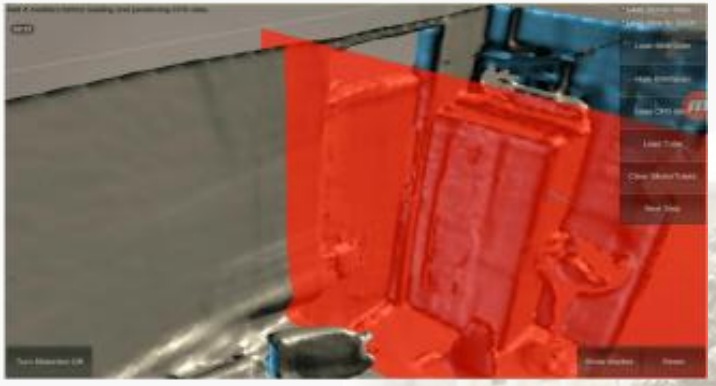
(a) Put marker



(b) Load point cloud



(c) Touch on screen: the white dot

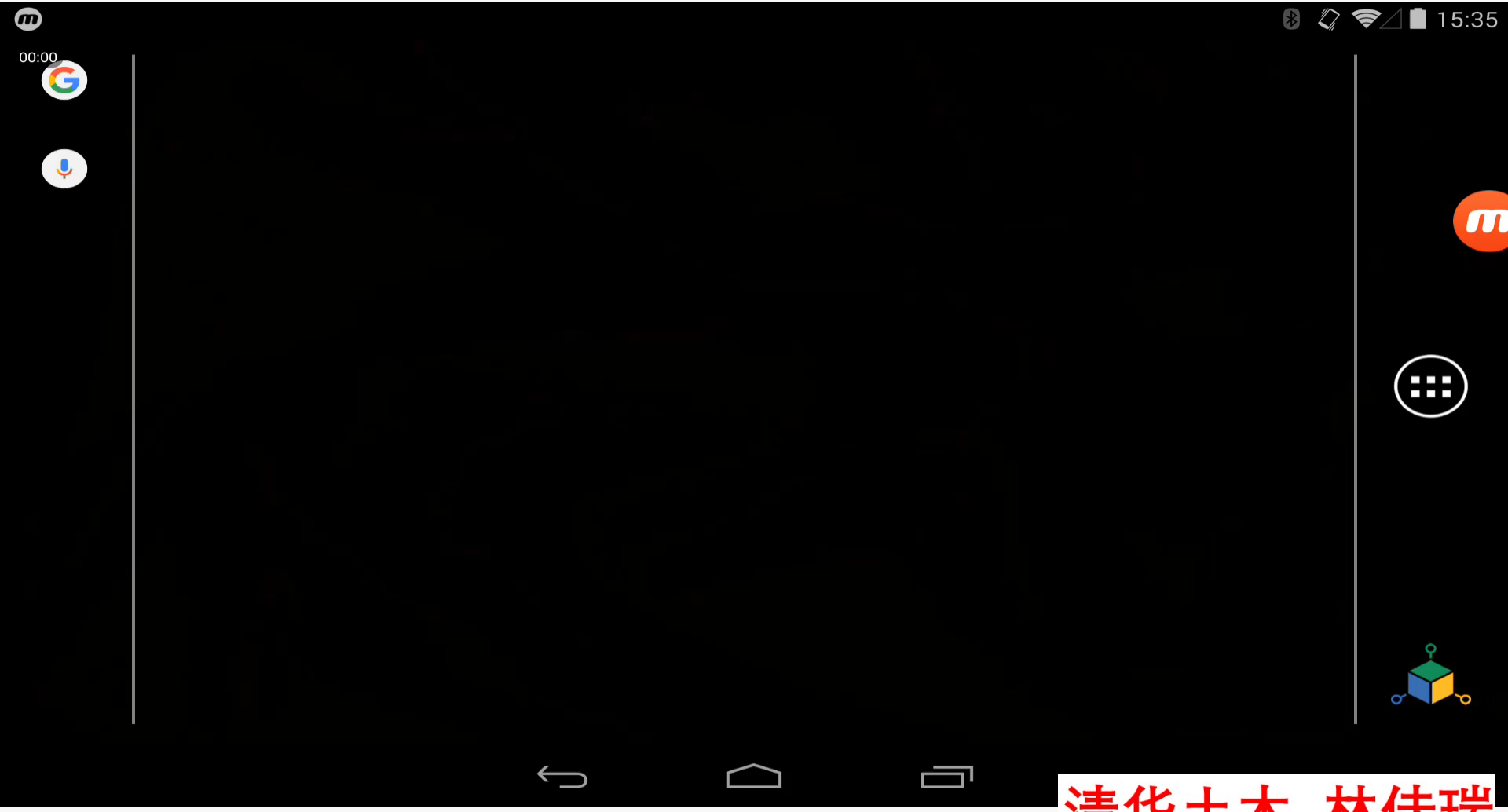


(d) Load slice based on touch position

应用验证

清華大學 Tsinghua University

- 案例应用

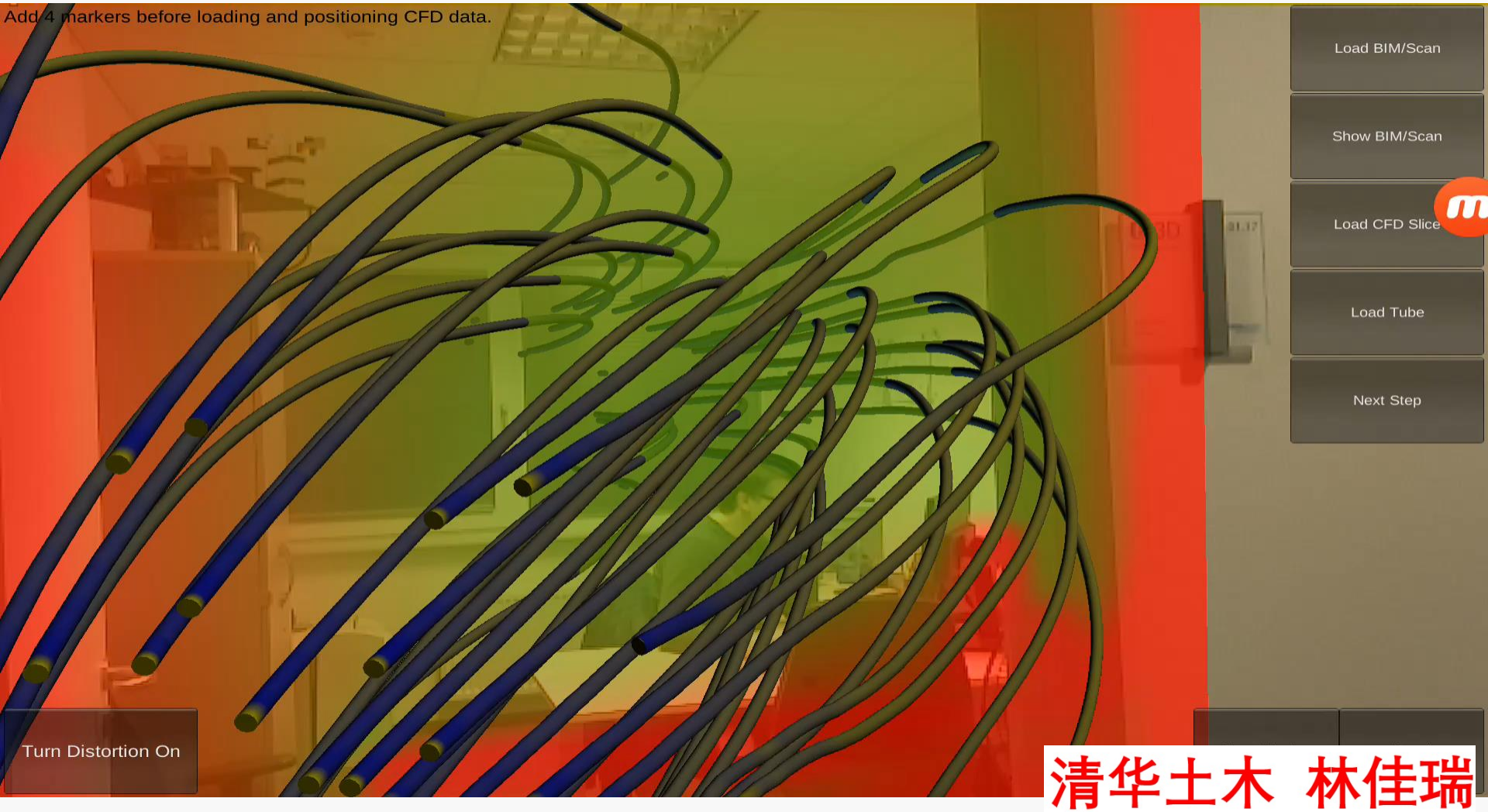


清华土木 林佳瑞

应用验证

清華大學 Tsinghua University

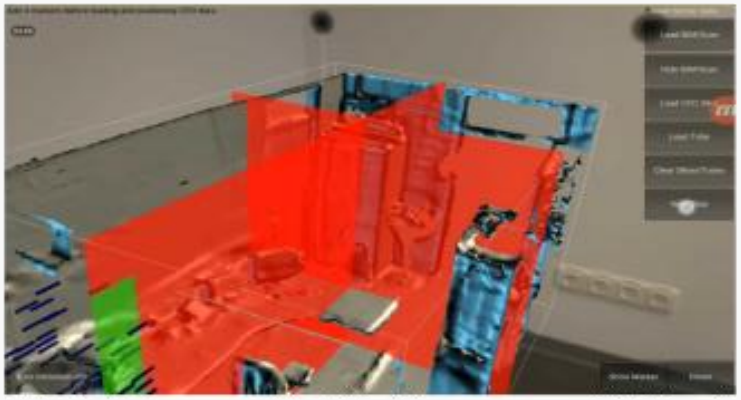
案例应用



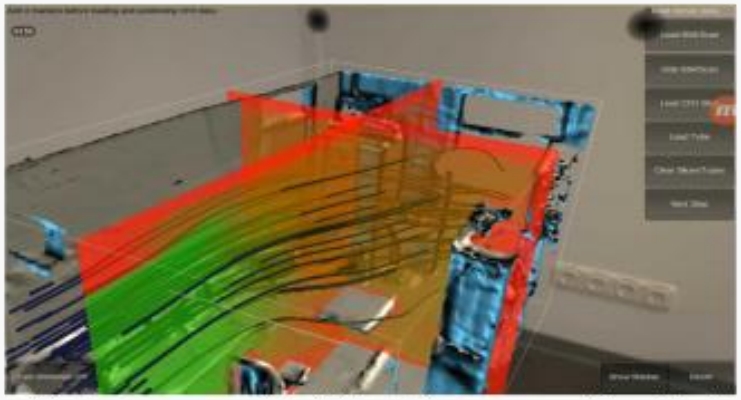
清华土木 林佳瑞

应用验证

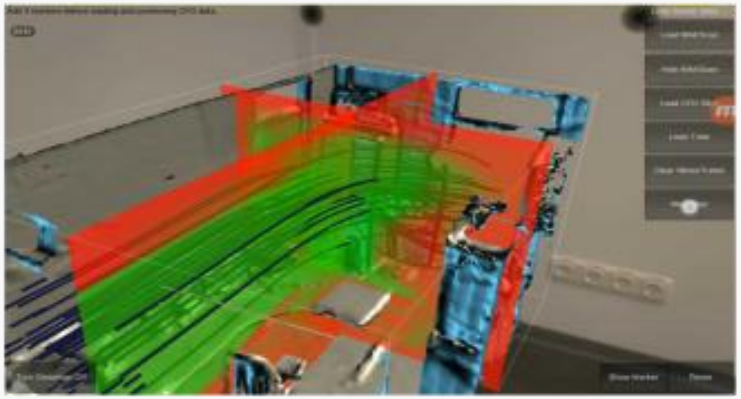
案例应用



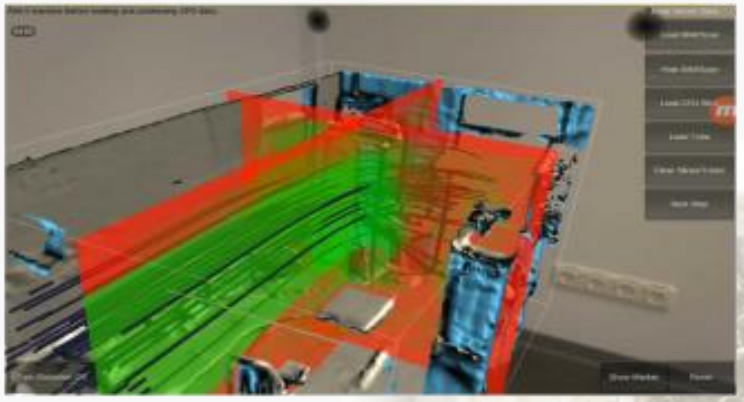
(a) Time step 1



(b) Time step 2



(c) Time step 3



(d) Time step 4

应用验证

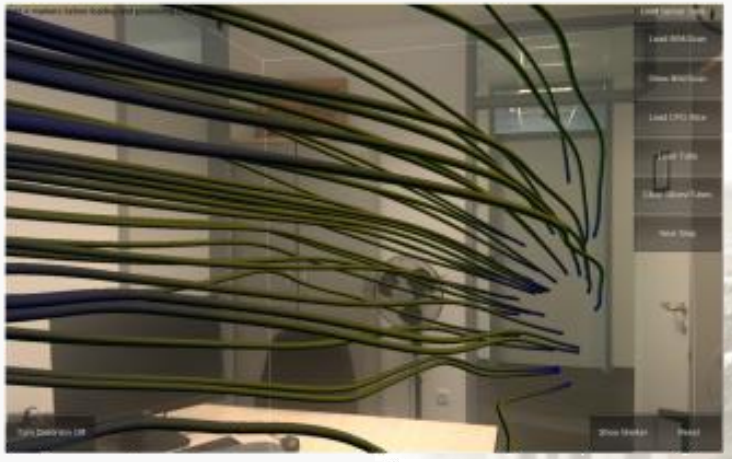
清華大學 Tsinghua University

案例应用

(a) Airflow begin

(b) Time step 1

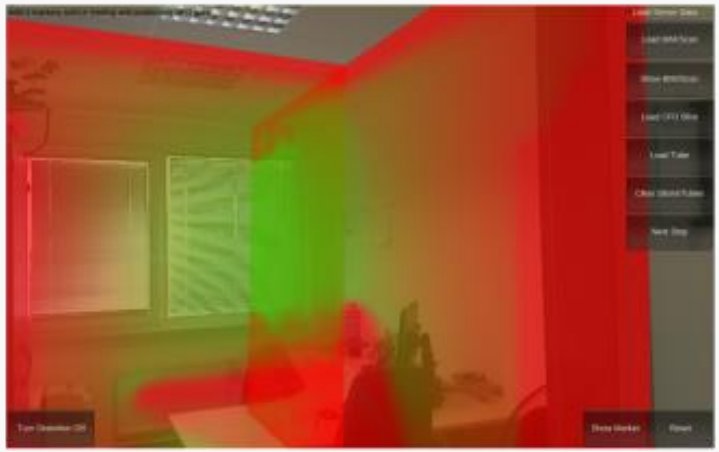
(c) Time step 2



(d) Airflow go thr

应用验证

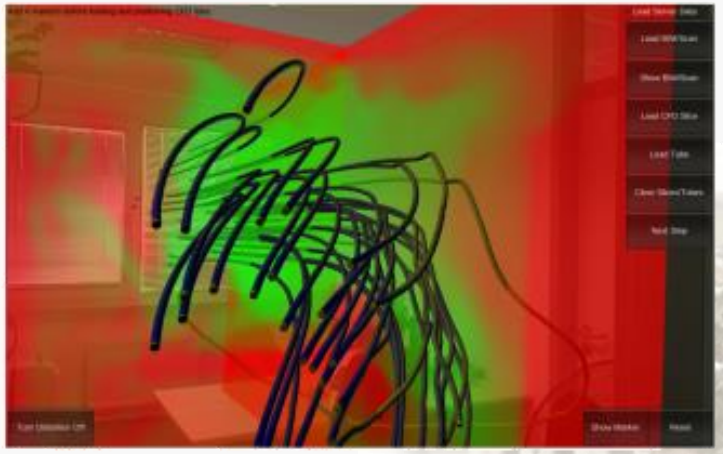
案例应用



(a) Time step 1

(b) Time step 2

(c) Time step 3

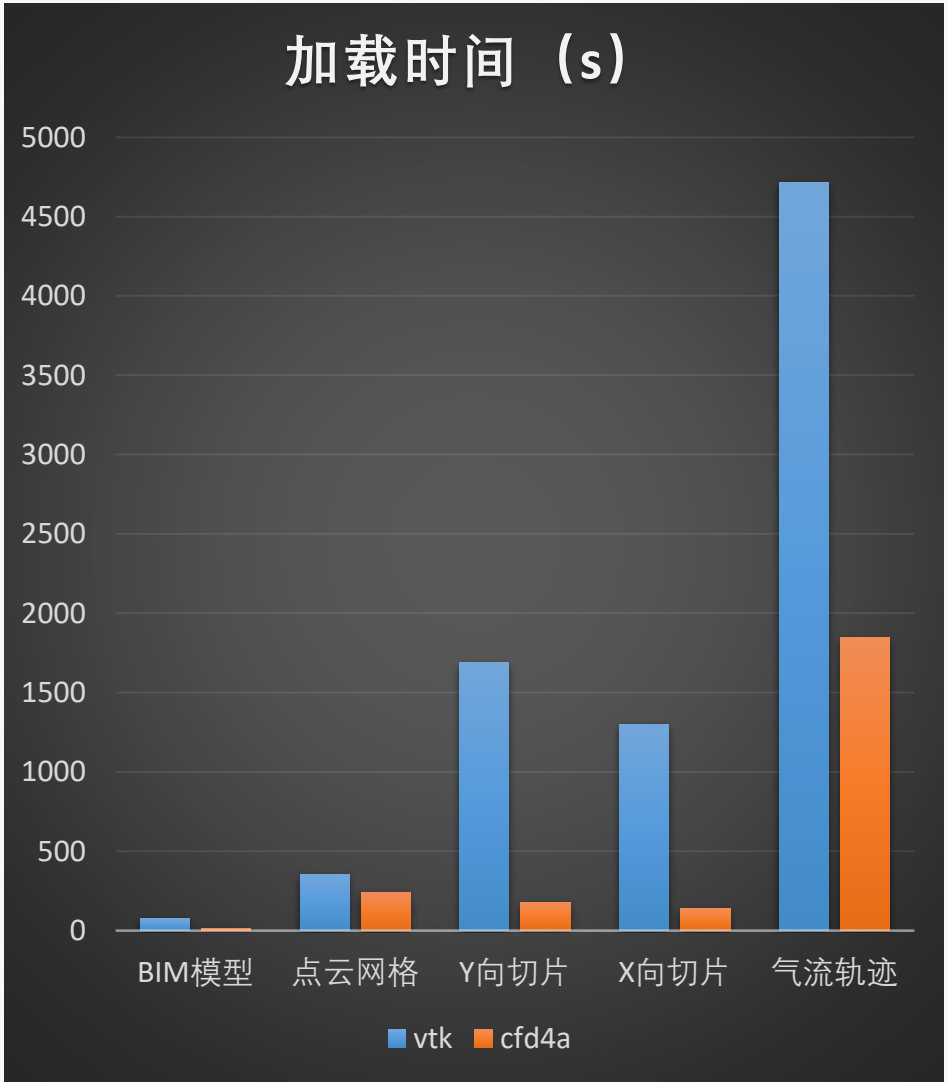


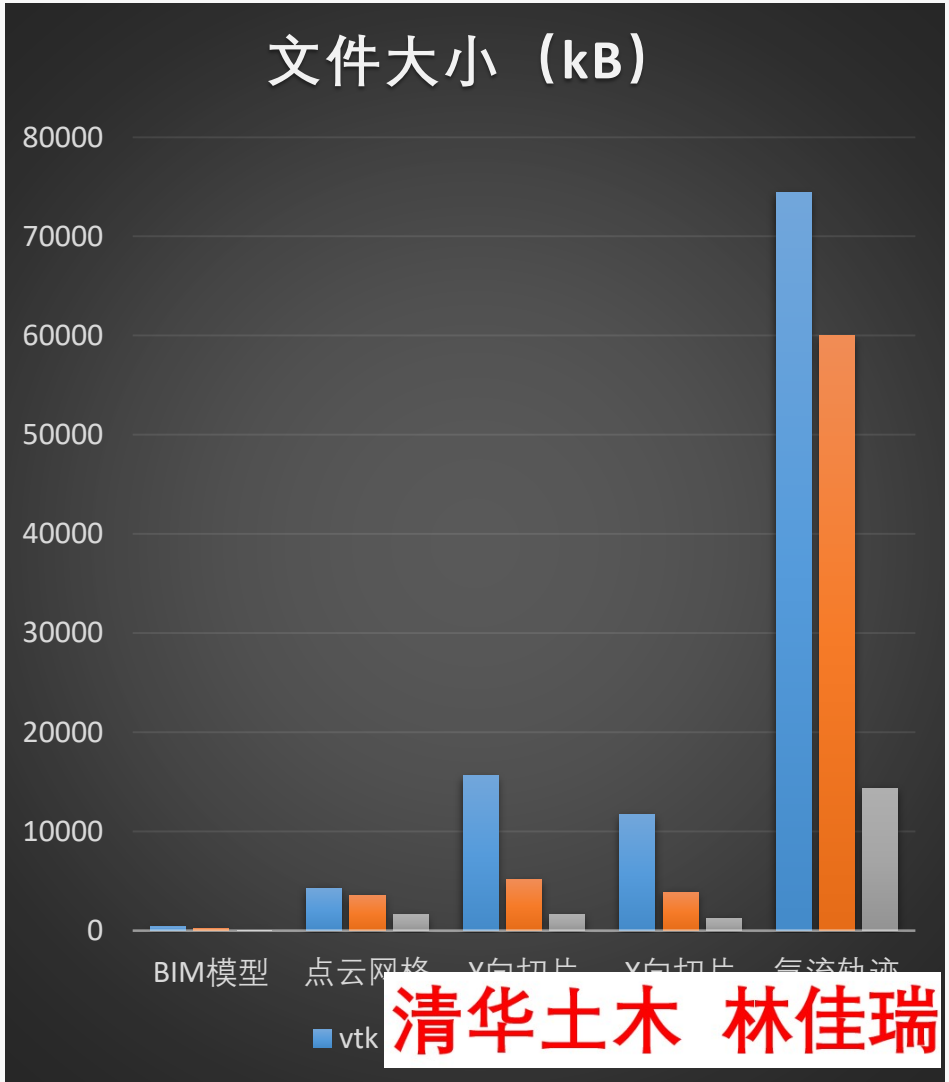
(d) Time

应用验证

清華大學 Tsinghua University

性能分析





清华土木 林佳瑞

应用验证

清華大學 Tsinghua University

- 用户反馈
  - 100%正向反馈，更直观、更方便、交互简单
  - 业主：能够看到真实环境对仿真的影响很重要
  - 设计师：跟业主沟通更方便，解释简单

用户类型	熟悉CFD	用过VR
4 学生	2Y + 2N	4Y
2 业主	2N	1Y + 1N
2 设计师	2Y	1Y + 1N

总结与展望

- 主要贡献
  - 移动终端CFD仿真增强现实高效可视化的解决方案
    - 新数据格式+数据处理算法+服务接口+AR交互方法
  - 具有极高数据压缩比率，大幅提升数据加载效率
  - 扩展性好，可兼容和支持多种AR设备
- 未来工作
  - 进一步支持FEM仿真数据
  - 更具真实感的交互方法
  - 融合场景感知能力

代码及数据共享： https://github.com/smartaec/ARvis-CFD

Lin, J.*, Cao, J., Zhang, J., van Treeck, C. and Frisch, J. (2019). Visualization of Indoor Thermal Environment on Mobile Devices based on Au... and Computational Fluid Dynamics; *Automation in Constructi...*

清华土木 林佳瑞

谢谢！请批评指正！

林佳瑞，助理研究员

清华大学土木系

lin611@tsinghua.edu.cn

2019/05/26

清华土木 林佳瑞