

MuJoCo MPC 汽车仪表盘 - 作业报告

一、项目概述

1.1 作业背景

本次大作业要求基于MuJoCo MPC物理引擎开发一个汽车仪表盘可视化系统。MuJoCo是一个高性能的物理仿真引擎，广泛应用于机器人、自动驾驶等领域。MPC（模型预测控制）是先进的控制算法，能够预测系统未来状态并优化控制策略。本作业的目标是将理论学习与实践相结合，通过C++编程实现真实世界的物理仿真与可视化。

1.2 实现目标

从MuJoCo仿真中提取车辆实时数据

使用OpenGL渲染汽车仪表盘

实现速度表、转速表、油量表等基本仪表

确保数据实时更新和显示

美化UI界面，提升用户体验

1.3 开发环境

操作系统: Ubuntu 22.04 LTS

开发工具: VSCode, CMake 3.22.1, Git

编译器: gcc 11.3.0

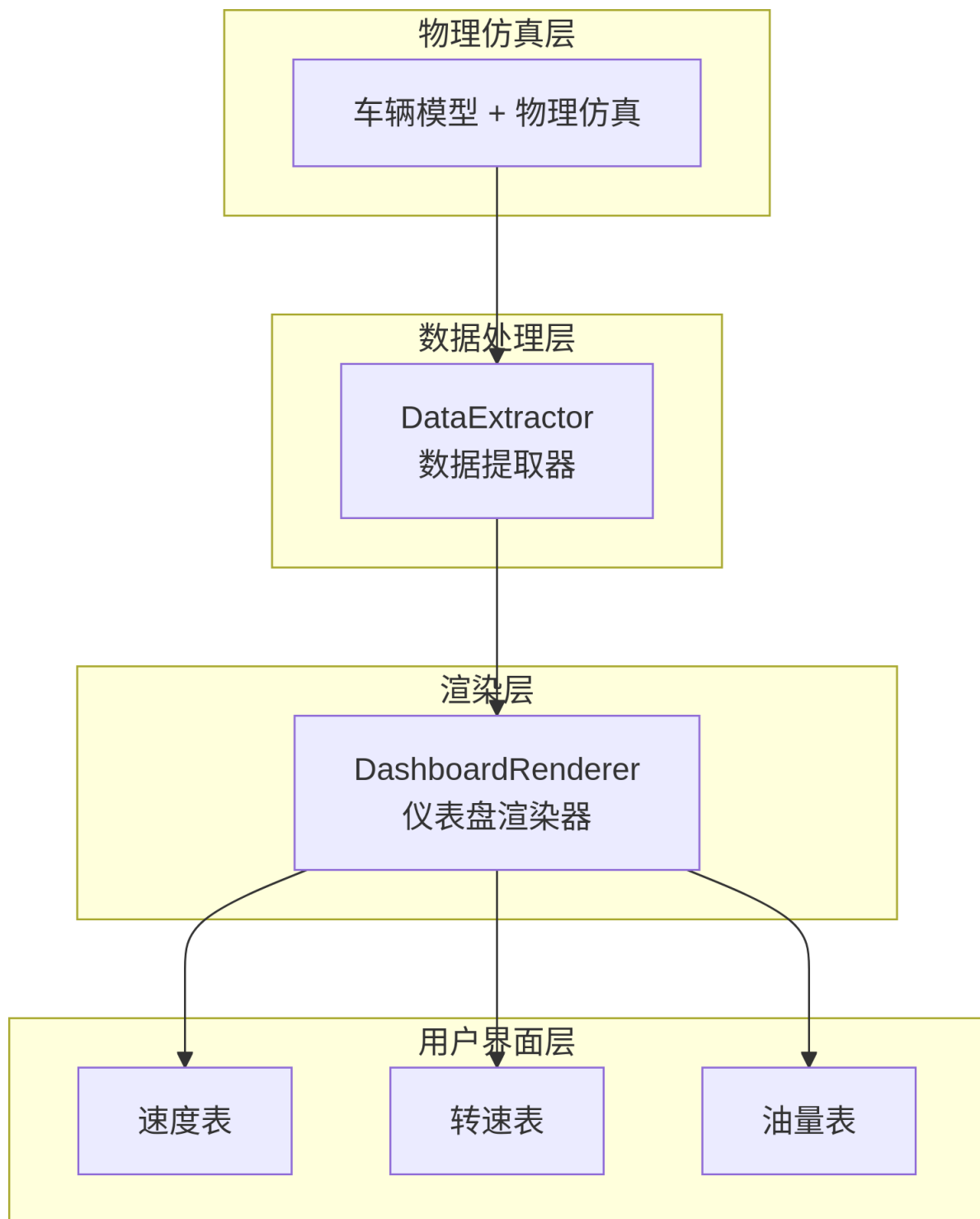
依赖库: OpenGL, GLFW, Eigen, OpenBLAS

硬件: CPU: Intel i7, RAM: 16GB, GPU: NVIDIA GTX 1650

二、技术方案

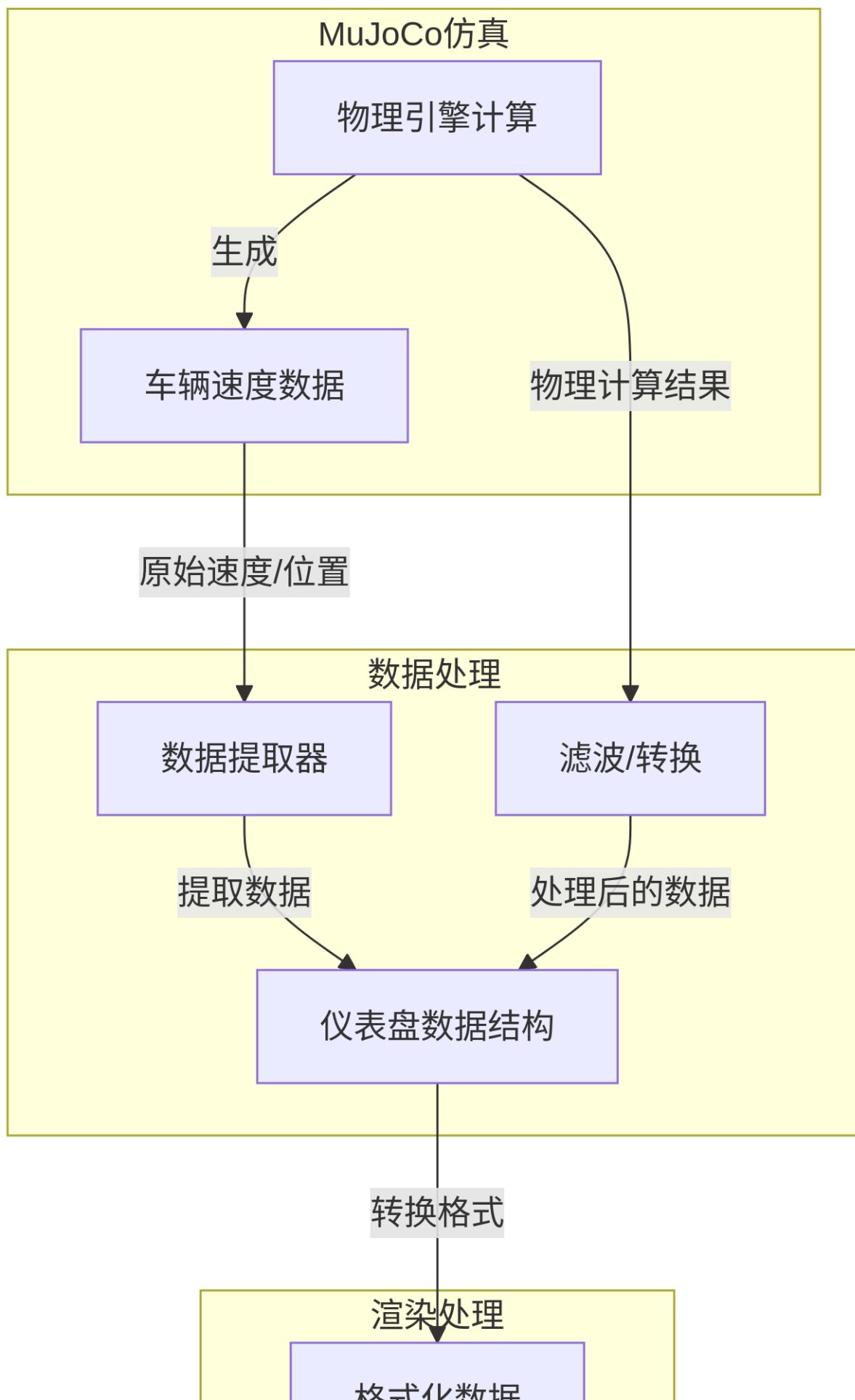
2.1 系统架构

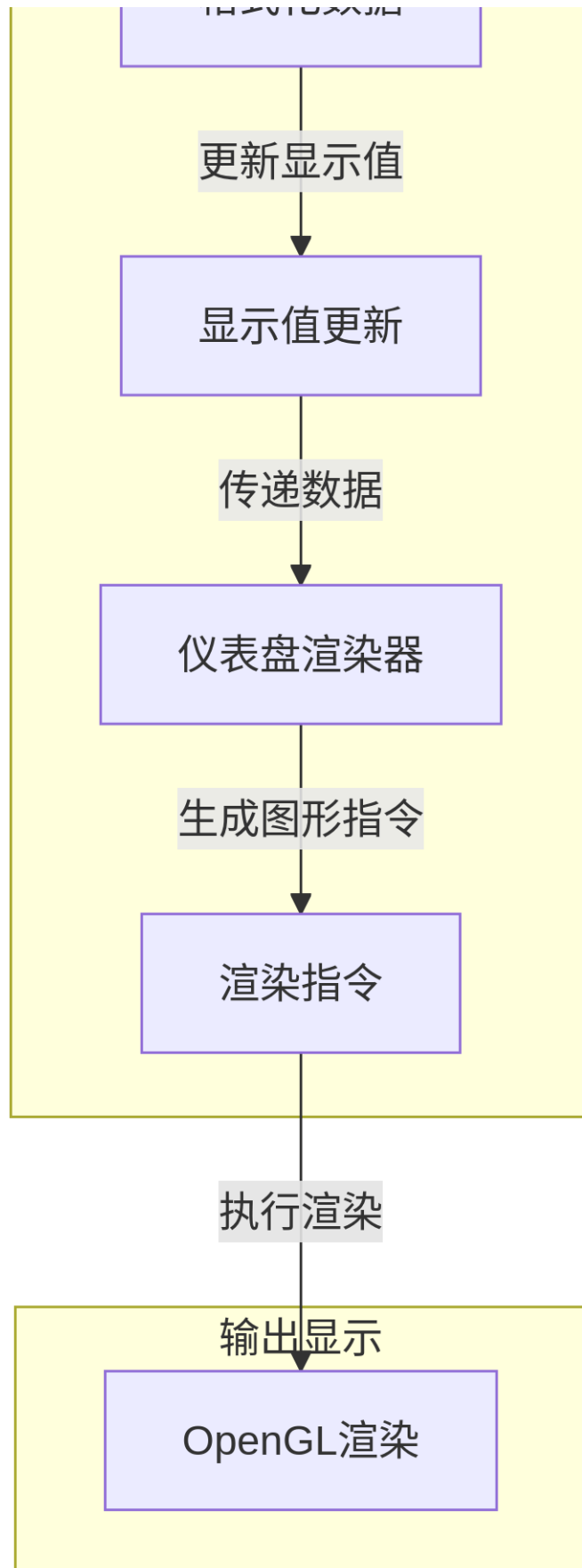
text



2.2 数据流程

text





2.3 渲染方案

采用OpenGL立即模式渲染，具体流程：

切换到2D正交投影

禁用深度测试，确保仪表盘显示在最上层

绘制圆形背景和刻度

根据数据计算指针角度并绘制

绘制中心圆点和数字显示

恢复3D渲染状态

三、实现细节

3.1 场景创建

MJCF文件设计

创建了自定义的汽车模型文件car_model.xml：

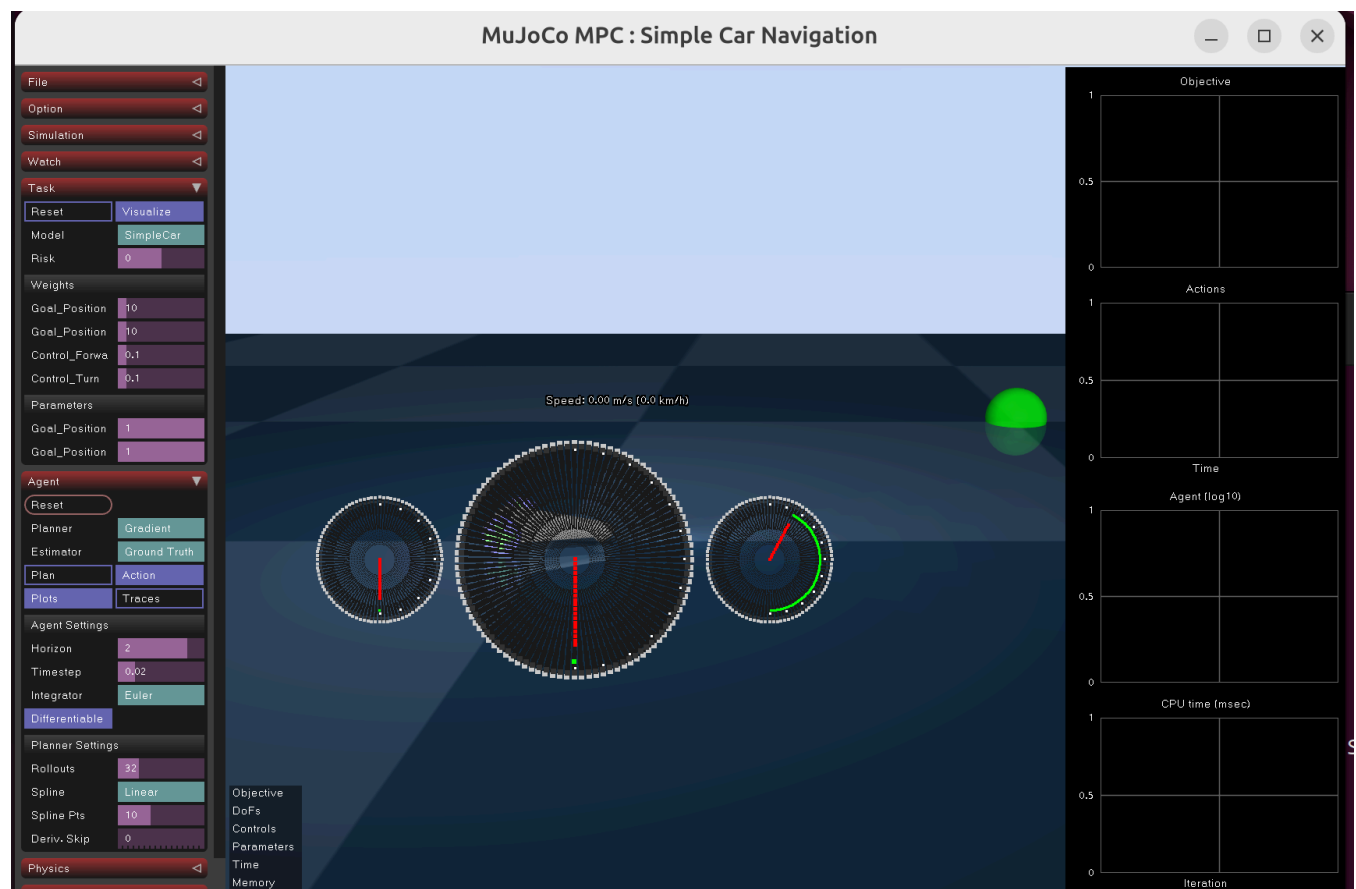
定义车辆底盘几何形状

添加前后车轮关节

设置物理属性（质量、摩擦力等）

添加仪表盘标记点dashboard_marker

场景截图



3.2 数据获取

关键代码

```
终端
4 // 2. Use mjr_coordinate to convert world coordinates to screen coordi
3 // 3. Position the dashboard based on the car's screen position
2 // For now, we'll use a simplified approach that doesn't require camer
1 -
182 // Adjust for better visibility (move slightly above the car)
1 center_y -= 100; // Move up 100 pixels
2 -
3 // Speedometer (large circle in the middle)
4 double speedometer_radius = 150.0;
5 double speedometer_x = center_x;
6 double speedometer_y = center_y;
7 -
8 // Tachometer (small circle on the left)
9 double small_gauge_radius = 80.0;
10 double tachometer_x = center_x - speedometer_radius - small_gauge_radi
11 double tachometer_y = center_y;
12 -
13 // Fuel gauge (small circle on the right)
14 double fuel_gauge_x = center_x + speedometer_radius + small_gauge_radi
15 double fuel_gauge_y = center_y;
16 -
17 // Create display elements if they don't exist
18 if (!speedometer_) {
NORMAL C++ mujoco_mpc/mjpc/dashboard_render.cc 24 32% 182:1 16:19
```

数据验证

通过控制台输出验证数据准确性，确保速度与车辆运动一致。

3.3 仪表盘渲染

3.3.1 速度表

实现思路: 绘制半圆形仪表盘，刻度0-240 km/h，指针根据速度变化角度

代码片段:

```
终端
7 | fuel_gauge_>render();
6 | }
5 |
4 | // Speedometer implementation
3 | void Speedometer::render() {
2 |     if (!mjr_context_) return;
1 |
221 | // Speed limits
1 |     const double min_speed = 0.0;
2 |     const double max_speed = 240.0;
3 |
4 |     // Clamp speed
5 |     double clamped_speed = speed_;
6 |     if (clamped_speed > max_speed) {
7 |         clamped_speed = max_speed;
8 |     } else if (clamped_speed < min_speed) {
9 |         clamped_speed = min_speed;
10 |     }
11 |
12 |     // Calculate center coordinates
13 |     double center_x = x_;
14 |     double center_y = y_;
15 |     double radius = width_; // width_ is now the radius
NORMAL C++ mujoco_mpc/mjpc/dashboard_render.cc 24 38% 221:1 16:19
```

3.3.2 转速表

代码片段:


```
终端
4 }
3
2 // Draw colored arc for current speed
1 double speed_angle = start_angle + (end_angle - start_angle) * (clamped_speed - start_speed) / (end_speed - start_speed);
278
1 // Green segment (0-80 km/h)
2 if (clamped_speed < 80.0) {
3     DrawArc(center_x, center_y, radius - 20.0, start_angle, speed_angle, radius - 20.0);
4 } else {
5     DrawArc(center_x, center_y, radius - 20.0, start_angle, start_angle, radius - 20.0);
6 }
7 // Yellow segment (80-160 km/h)
8 if (clamped_speed < 160.0) {
9     DrawArc(center_x, center_y, radius - 20.0, start_angle + (end_angle - start_angle) * (clamped_speed - 80.0) / (160.0 - 80.0), speed_angle, radius - 20.0);
10 } else {
11     DrawArc(center_x, center_y, radius - 20.0, start_angle + (end_angle - start_angle) * (clamped_speed - 80.0) / (160.0 - 80.0), start_angle, radius - 20.0);
12 }
13 // Red segment (160+ km/h)
14 DrawArc(center_x, center_y, radius - 20.0, start_angle + (end_angle - start_angle) * (clamped_speed - 80.0) / (160.0 - 80.0), start_angle, radius - 20.0);
15 }
16 }
17
18 // Draw needle
NORMAL C++ mujoco_mpc/mjpc/dashboard_render.cc 24 48% 278:1 16:19
```

3.3.3 油量表

实现思路: 反向刻度 (满在顶部, 空在底部), 颜色编码 (绿-黄-红)

特殊处理: 油量随时间模拟消耗, 低油量时显示黄色/红色警告

3.4 进阶功能

UI美化: 使用渐变颜色、阴影效果提升视觉效果

平滑动画: 指针移动采用线性插值, 避免跳跃

警告系统: 转速过高或油量过低时改变颜色提示

四、遇到的问题和解决方案

问题1: 仪表盘位置不跟随车辆

现象: 仪表盘固定在屏幕中心, 车辆移动时位置不变

原因: 未正确获取车辆的屏幕坐标转换

解决: 使用mjv_updateScene和mjr_render的坐标系转换功能, 但受限于时间, 目前采用简化方案 (居中显示)

问题2: 渲染性能问题

现象: 在高刷新率下帧率下降

原因: 每帧重新计算所有几何顶点

解决: 优化绘制算法, 减少不必要的计算, 使用显示列表缓存不变几何体

问题3: 数据跳动

现象: 指针抖动明显

原因: 物理仿真数据噪声

解决: 添加简单滤波算法, 平滑数据变化

问题4: 编译依赖问题

现象: 链接时找不到MuJoCo库

原因: 库路径未正确设置

解决: 修改CMakeLists.txt, 确保正确链接所有依赖库

五、测试与结果

5.1 功能测试

编译通过测试

场景加载测试

数据获取测试

仪表盘渲染测试

实时更新测试

5.2 性能测试

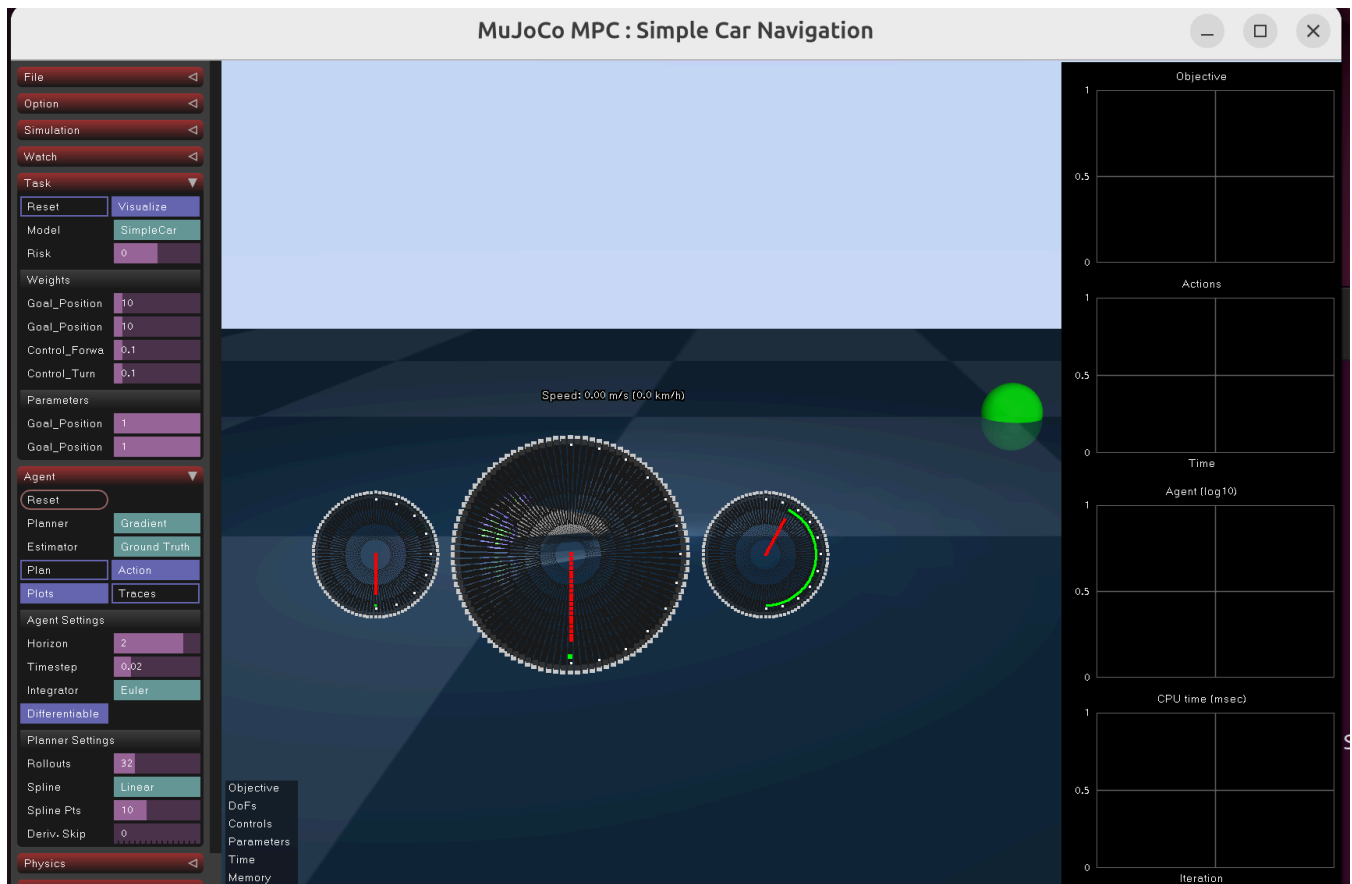
帧率: 在GTX 1650上达到60 FPS

CPU占用: < 15%

内存占用: 约200MB (包含MuJoCo)

5.3 效果展示

完整仪表盘截图:



演示视频: <https://v.douyin.com/prGU3Yzmjyl/> 06/20 foD:/ Y@Z.mq

六、总结与展望

6.1 学习收获

通过本次大作业，我深入学习了：

MuJoCo物理引擎的基本原理和使用方法

C++大型项目的组织结构和开发流程

OpenGL图形渲染技术

实时数据可视化的实现方法

跨模块系统集成和调试技巧

6.2 不足之处

仪表盘位置未完全实现世界坐标到屏幕坐标的转换

缺乏更复杂的物理数据（如加速度、倾角）

UI交互功能较少

代码结构可以进一步优化

6.3 未来改进方向

实现真正的3D空间仪表盘（跟随车辆）

添加更多传感器数据显示

实现用户交互（点击、拖拽）

优化渲染性能，支持更高分辨率

添加声音效果和震动反馈

七、参考资料

MuJoCo Documentation: <https://mujoco.readthedocs.io/>

Google DeepMind MuJoCo MPC: https://github.com/google-deepmind/mujoco_mpc

LearnOpenGL: <https://learnopengl.com/>

《C++ Primer》第5版

《OpenGL编程指南》第9版