

# 基于 UNITY3D 的水下机器人视景仿真方法

程宇 刘铁军 唐元贵 王健 姜志斌 祁胜

中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016

中国科学院机器人与智能制造创新研究院 沈阳 110169

**摘要** 水下机器人的视景仿真在整个机器人的研制中占有非常重要的地位。一方面应用在水下机器人航行时,进行实时监控,显示机器人的姿态信息。结合海底信息,为操作员的操控提供了重要的辅助信息;另一方面也应用在测试阶段的仿真航行,它可以反馈海底的障碍信息,提供高程深度数据。本文针对水下机器人视景仿真的需要,设计了水下机器人的视景仿真方法,利用 UNITY3D 技术进行开发,根据实际地图数据建立海底场景,显示水下机器人在水下航行的姿态,提高了海景的渲染效果和真实程度。本方法已经实际应用于“十三五”国家重点研发计划“全海深水下机器人”海斗一号”中和国家重点研发计划全海深 AUV 中,在论证,测试,实用等各个阶段中,该方法都具有重要意义,为水下机器人的进一步研究提供了有力支撑。

**关键词:** 全海深 ARV; 水下机器人; UNITY3D; 视景; 仿真

**中图分类号** TP391

## Underwater Robot Visual Simulation Based on UNITY3D

CHENG Yu, LIU Tie-jun, TANG Yuan-gui, WANG Jian, JIANG Zhi-bin and QI Sheng

Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

Institutes for Robotics and Intelligent Manufacturing, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110169, China

**Abstract** The visual simulation plays a very important role in the development of the robot. On the one hand, it can be used in underwater robot navigation to carry out real-time monitoring and display robot attitude information. With seabed information, it provides important auxiliary information for operator. On the other hand, it is also used in the simulation of the test stage. It can feed back the obstacle information of the seabed and provide elevation and depth data. Aiming at the needs of underwater robot visual simulation, this paper designs the visual simulation method of underwater robot, develops by using UNITY3D technology, creates the scene according to the actual map data, displays the underwater navigation attitude of underwater robot, and improves the rendering effect and real degree of sea view. This method has been actually applied in the national key research and development plan of the 13th Five-Year Plan for full-depth ocean autonomous and remotely-operated vehicle "Haidou-1" and AUV. In the demonstration, test, practical and other stages, this method is of great significance, providing a strong support for the further research of underwater robot.

**Keywords** ARV, Underwater robot, UNITY3D, Visual, Simulation

## 1 引言

近年来,世界各国对海洋的探索力度都在不断增大,我国也把建设海洋强国作为国策,对海洋探测设备的投入越来越大。“海斗一号”由“十三五”国家重点研发计划“深海关键技术与装备”重点专项立项支持,历经 3 年的研发与测试,于 2020 年 6 月完成万米海试。它标志着我国无人潜水器技术由此跨入了一个新的阶段。本文介绍了“海斗一号”<sup>[1]</sup>项目中使用的视景仿真系统,基于 UNITY3D 技术完成了水下视景的模拟<sup>[2]</sup>。

UNITY3D 也称 Unity,是一个让玩家轻松创建诸如三维视频游戏、建筑可视化、实时三维动画等类型互动内容的多平台的综合型游戏开发工具,是一个全面整合的专业游戏引擎。

目前在国内,UNITY3D 主要应用在游戏业中<sup>[3]</sup>,在科研领域中的应用还不多,主要集中在军工方面,比如火炮、穿甲弹<sup>[4]</sup>相关的仿真。

在水下机器人的领域,大部分研究还是使用 VEGA-PRIME 进行视景仿真<sup>[5-7]</sup>。本文使用 UNITY3D 作为开发工具,将二维高斯函数运用于海底地形生成中;使用 Genstner 公式产生海面效果;通过指数雾化实现海底弱光效果,相比之前的技术,取得了更好的渲染效果和运行效率。

## 2 水下视景的实现

### 2.1 海底地形

为了实现海底效果,需要建立海底的三维模型。首先将地形的高度数据转换为一个灰度图。灰度图中的每个像素代

表一片区域的平均深度如图 1 所示,其中横向对应经度位置,纵向对应纬度位置,灰度值的大小代表高度。

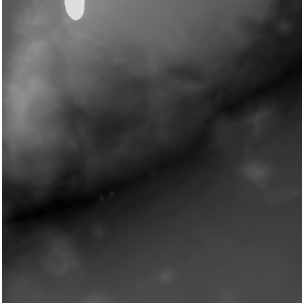


图 1 地形灰度图

Fig. 1 Grayscale topographic

根据地形灰度图产生三维地图。由于要模拟的万米海底地图的分辨率可能不能满足实际需要,为了使整个地形连续,而不是由多块平面组成,利用高斯拟合生成平滑地形。根据二维高斯曲面函数得到目标点的灰度值:

$$f(x_i, y_i) = T \times \exp\left[-\frac{(x_i - x_0)^2 - (y_i - y_0)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

其中,  $(x_i, y_i)$  为目标点;  $f(x_i, y_i)$  为目标点灰度值;  $T$  为常数,代表中心点的灰度值;  $\sigma$  为高斯函数均方差;  $(x_0, y_0)$  为中心点位置。通过在中心点的四周插入目标点使整个海底地形变得平滑,最后生成的海底地形图如图 2 所示。

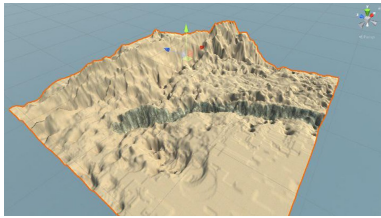


图 2 UNITY3D 中生成的地形

Fig. 2 3D topographic generated by UNITY3D

## 2.2 潜水器模型

从 SOLIDWORKS 中导出模型的格式为 WRL。使用建模软件将模型从 WRL 格式转换为 FBX。建模软件选择 BLENDER<sup>[8]</sup>, 这是一款开源的跨平台三维动画制作软件, 提供从建模、动画、材质、渲染到音频处理、视频剪辑等一系列动画短片制作的解决方案。之后在 UNITY3D 中导入潜水器模型, 其效果如图 3 所示。



图 3 水下场景

Fig. 3 Underwater scene

## 2.3 水面和水下效果

### 2.3.1 水面效果

通过多个波的叠加来模拟水面效果。这些波的方向、波长、振幅和速度不同,波峰比较尖锐,波谷比较宽。本文利用

Gerstner 公式<sup>[9]</sup>模拟波的叠加。

$$P(x, y, t) = \begin{cases} x + \sum(Q_i A_i \times D_i \cdot x \times \cos(\omega_i D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t)) \\ y + \sum(Q_i A_i \times D_i \cdot y \times \cos(\omega_i D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t)) \\ \sum(A_i \sin(\omega_i D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t)) \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $x, y$  代表水平方向坐标。  $i$  代表第  $i$  个波;  $A$  代表振幅,表示从水平面到波峰的高度;  $D$  代表方向,表示垂直于波峰沿波前进方向的水平矢量。  $D_i \cdot x$  和  $D_i \cdot y$  为方向的  $x$  分量和  $y$  分量。  $D_i \cdot (x, y)$  即方向点乘坐标。  $\omega_i$  为控制频率,  $\varphi_i$  为控制相位。  $Q$  可以用来控制波的陡度,其值越大,则波越陡。  $Q=0$  为正弦波,  $Q=1$  为最陡峭。

在 shader 中实现式(2),进行 3 个波的叠加,就可以得到比较好的水面效果。 shader 是可以在 GPU 上运行的代码,用来替代固定渲染管线的可编辑程序。使用它在显卡上实现本文算法,就可以得到我们想要的效果,最后得到的水面效果如图 4 所示。使用此种方法营造的水面效果,相比 VEGA PRIME 中实现的效果(见图 5),无论是光的反射效果,还是水纹的细节,都要真实许多。

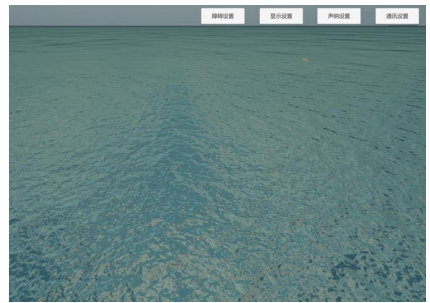


图 4 UNITY3D shader 实现的水面效果

Fig. 4 UNITY3D water shader



图 5 VEGA PRIME 水面效果

Fig. 5 VEGA PRIME water

### 2.3.2 水下效果

由于水底光线较暗,我们通过雾效果来营造真实的水底环境。雾的颜色选择蓝绿色。使用顶点雾化函数,将物体的颜色与雾的颜色进行混合。常用的顶点雾化函数有线性雾化、指数雾化和指数平方雾化。本文利用指数平方雾化达到更加真实的效果。

$$Fog = e^{-(d * density)^2} \quad (3)$$

其中,  $d$  代表视点与顶点的距离;  $density$  代表雾密度,一般在  $[0, 1]$  之间变化。距离越远,  $Fog$  越小,物体的颜色与雾的颜色混合越多,越显得模糊;距离越近,物体的颜色与雾的颜色混合越少,物体越清晰。使用雾效果营造的海底低光环境,如图 6 所示。



图 6 水下低光效果  
Fig.6 Underwater low light

此外本设计增加了增加扭曲图像的 shader,来模拟水下镜像随水流扭曲的现象,并通过体积光实现灯光的丁达尔效果,如图 7 所示。

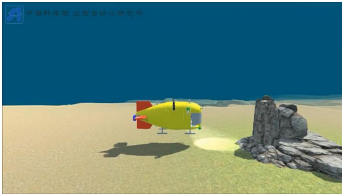


图 7 水下丁达尔效果  
Fig.7 Underwater Tyndall effect

使用 LINEREDNER 组件绘制蓝色线段,用来表示航迹,如图 8 中蓝色线段。

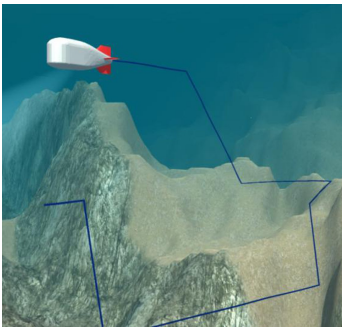


图 8 线段渲染(电子版为彩色)  
Fig.8 Line render

### 3 障碍信息和高程信息的计算

水下机器人仿真需要计算避障信息和高程信息。根据声呐的原理,以潜水器为圆心,以扇形向前发射多条射线,见图 9 中的红色线段。射线在遇到物体或者海底时,会产生碰撞点,由此计算出障碍物和机器人之间的相对距离,其中的最短距离就是障碍物和机器人的距离,以此作为障碍信息,反馈给避障单元。

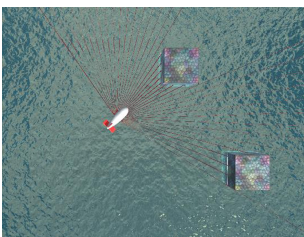


图 9 发射射线产生障碍信息  
Fig.9 Calculate obstacle information with ray

同理,从潜器中心向正下方发射射线,射线和海底地形发生碰撞的位置同潜水器中心点的距离就是高程信息,此信息也反馈给避障单元。

## 4 程序设计

### 4.1 程序组成图和流程图

视景仿真软件由三维显示模块、设备模拟模块、网络通讯模块组成。三维显示模块主要负责海底地形、潜器和水下效果的显示;设备模拟模块负责模拟避障设备,比如声纳和高度计,计算障碍信息和高程信息;网络通讯模块用来和外部程序通讯,获取潜水器的实时姿态信息,为仿真计算机提供障碍信息和高程信息。程序组成图如图 10 所示。

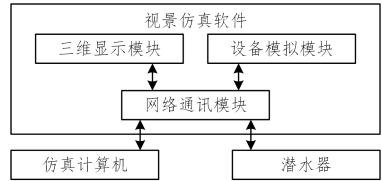


图 10 软件组成图  
Fig.10 Software composition diagram

程序的主流程图如图 11 所示。

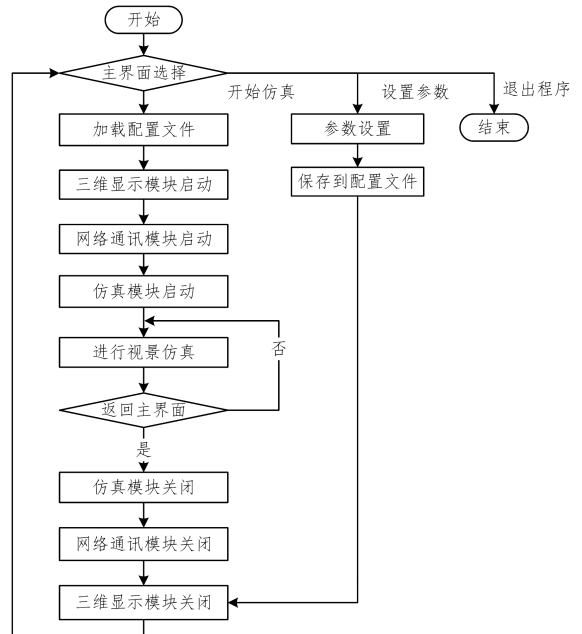


图 11 主流程图

Fig.11 Main program flowchart

### 4.2 协程设计

UNITY3D 主线程以外的线程无法访问 UNITY3D 对象。为了能够在多线程中对 UNITY3D 对象进行访问,本文使用了协程来解决这个问题。协程不是进程或线程,其执行过程更类似于异步调用,或者说不带返回值的函数调用。设计 Loom 类来完成异步交互的功能,其原理如图 12 所示。

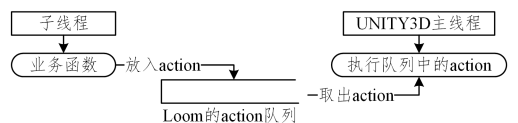


图 12 协程设计

Fig.12 Coroutine design

子线程是业务线程,作为生产者,将调用 UNITY3D 对象,封装成 action,放入 LOOM 类的队列中;UNITY3D 主线程做为消费者,将 action 取出,还原成函数调用,之后执行。

通过此设计,可以在任何子线程中对 UNITY3D 对象进行操作,提高了效率,增强了功能,简化了代码的复杂度。

#### 4.3 MVC 模式设计

为了让控制、显示、业务解耦,将程序按照 MVC 模式进行分层设计,如图 13 所示。

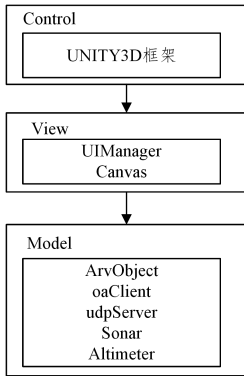


图 13 MVC 模式

Fig. 13 MVC design patten

CONTROL 层是用户交互的部分。在 UNITY3D 开发框架中,将 UI 控件的回调函数同 View 层的类进行绑定。当控制发生时,UNITY3D 框架将会调用绑定的函数。

View 层是显示界面的部分。这一层由 UIManager 和各个界面的 Canvas 类组成。

Control 层是负责业务处理的部分。这一层由水下机器人 Object, oaClient, udpServer, Sonar, Altimeter 等业务类组成。

当用户操控界面时,Control 层接收操作消息,调用 View 层,View 层显示,然后再调用 Model 层进行处理。为了解耦,Control 层中的回调函数只可以绑定 View 层类的函数。View 类中只能调用 Model 层类的函数。所有的业务代码都放在 Model 层中。这样的分层设计简化了复杂程序的管理,在编写代码时可以专注于一个方面。当控制发生改变时,比如按钮的功能对调,只需要改变 Control 层,当页面的显示需要改变时,只需要改变 View 层;当业务逻辑需要改变时,只需要修改 Model 层,而其他层的代码不需要改变。

**结束语** 本文给出了一种通过 UNITY3D 构建视景仿真软件的方法,它解决了两个问题:

(1)进行水下作业时,操作员无法直接看到机器人整体,对于作业的情况无法掌握。通过视景仿真可以看到整个机器人,为操作员的操作提供重要信息。

(2)视景仿真软件可以提供水下障碍信息和海底信息,这样可以进行仿真,测试机器人的导航和避障性能。相比昂贵又耗时的海试,其节省了大量资源和时间。

目前,此软件已经应用在了全海深潜水器“海斗一号”和在全海深 AUV 项目中。在 2020 年 6 月,“海斗一号”马里亚纳海沟万米海试中,该软件得到了应用,并取得很好的效果。未来我们将继续在实时地形显示、水动力物理仿真等方面并开展研究。

#### 参考文献

- [1] 唐元贵,王健,陆洋,等.“海斗号”全海深自主遥控水下机器人参数化设计方法与试验研究[J]. 机器人,2019,41(6):697-705.
- [2] 江恒.基于 UNITY3D 的无人艇视景系统开发研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2016:1-20.
- [3] 金玺曾. UNITY3D 手机游戏开发[M]. 北京:清华大学出版社,2015.
- [4] 崔瀚.基于 UNITY3D 的火炮外弹道虚拟视景仿真系统[M]. 兵工自动化出版社,2017.
- [5] 莫剑飞.基于 Vega Prime 的水下航行器视景仿真[M]. 电子设计工程出版社,2015.
- [6] 刘鹏仲.多亮点目标模拟及其水下试验视景仿真应用的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.
- [7] 蔡向东.超高速水下航行器弹道可视化仿真技术[D]. 西安:西北工业大学,2008.
- [8] Blender[OL]. <https://www.blender.org/>.
- [9] ABRASHKIN A. Unsteady Gerstner waves [J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2019, 118:152-158.



**CHENG Yu**, born in 1983, research assistant. His main research interests include visual simulation and control system.

(上接第 263 页)

- [13] MANDALA J, CHANDRA S R, et al. Privacy preservation of data using crow search with adaptive awareness probability[J]. Journal of Information Security and Applications, 2019, 44:157-169.
- [14] HUANG W, LUO S B, WANG Z G. Crossbreeding Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Dynamic Parameter [J]. Computer Science, 2010, 37(12):165-166, 170.
- [15] PARSOPOULOS K, VRAHATIS M. Unified particle swarm optimization for solving constrained engineering optimization problems[C]//1st International Conference on Natural Computation (ICNC). 2005, 3612:582-591.
- [16] AKAY B, KARABOGA D. Artificial bee colony algorithm for large-scale problems and engineering design optimization [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, 23:1001-1014.
- [17] SADOLLAH A, BAHREININEJAD A, et al. Mine blast algorithm: a new population based algorithm for solving constrained

engineering optimization problems[J]. Applied Soft Computer, 2013, 13:2592-2612.



**LIN Zhong-fu**, born in 1995, postgraduate. His main research interests include overall design and optimization of aircraft, and variable-fidelity surrogate model.



**YAN Li**, born in 1976, Ph.D, associate professor. Her main research interests include the overall design and optimization of aircraft, and the theory and application of multidisciplinary design optimization.