摘 要

LeapMotion体感控制器是一款通过手势来控制软件或硬件的一种设备，目前

**ABSTRACT**

目 录

1. 研究背景
2. LeapMotion基本原理
3. LeapMotion手势控制的建立
4. LeapMotion与Unity3d的结合实例
5. LeapMotion手势控制的优点与局限性
6. 总结与展望

第一章 研究背景

1.1 虚拟现实

虚拟现实（VR）是一种计算机生成的场景，通过感官和感知来模拟体验。身临其境的环境可以与现实世界类似，也可以是幻想的，创造出在普通物理实验中不可能的体验。增强现实系统也可被视为VR一种形式，其通过将实时摄像头馈送到耳机或者通过智能手机或者平板设备的虚拟信息分层，是用户能够观看三维图像。

目前的虚拟现实技术通常使用虚拟现实耳机或多投影环境，有时结合物理环境或道具来生成模拟用户在虚拟或虚拟环境中的物理存在的逼真图像，声音或者其他感觉。使用虚拟现实设备的人能够观察人造世界，在其中一栋并且与虚拟特征或物品进行交互行为。这种效果通常由头戴式VR设备产生，头戴式显示器在眼镜前方有一个小屏幕，但也可以通过特别设计的带有多个大屏幕的房间创建。

包括通过游戏控制器或其他设备向用户传输振动和其他感觉的VR系统被称为触觉系统。这种触觉信息通常被称为医疗，视频游戏和军事训练应用中的力反馈。

1.2 LeapMotion体感控制器

LeapMotion控制器是一块小巧的USB外围设备，设计用于面朝上的方式放置在桌面上。它也可以安装到虚拟现实的头戴式设备上。使用两个单色红外摄像机和三个红外LED，该设备可以观察一个大约距设备距离大约1米的半球区域。LED产生图案的IR光，相机每秒产生几乎200帧的反射数据。然后通过USB电缆将其发送到主机，由LeapMotion软件通过公司“复杂数学”用以公司尚未公开的方式对其进行分析，以某种方式通过比较两台相机产生的2D数据帧来合成3D位置数据。在2013年的一项研究中，控制器的整体平均精确度显示为0.7毫米。

LeapMotion最初将数千个单元分发给有兴趣为该设备创建应用程序的开发人员。LeapMotion控制器与2013年7月首次发货。2016年2月，LeapMotion发布了其核心测试软件的主要测试版本更新。这款名为Orion的软件专为虚拟现实中的手部追踪而设计。

1.3 Unity

Unity是一款多用途游戏引擎，支持2D和3D图形，拖放功能以及使用C#编写脚本。支持另外两种编程语言：Boo，在Unity5发布时启用，而JavaScript在2017年8月发布的Unity后开始弃用。

该引擎针对以下图形API：Windows和Xbox One上的Direct3d；Linux, macOS和Windows上的OpenGL；Android和iOS上的OpenGL ES; Web上的WebGL；以及视频游戏控制台中的转悠API。此外，Unity支持iOS和macOS上的地基API METAL, Android, Linux和Windows上的Vulkan以及Windows和Xbox One上的Direct3D 12.

在2D游戏中，Unity允许引入sprites和先进的2D游戏渲染器。对于3D游戏，Unity允许为游戏引擎支持的没饿平台指定纹理压缩， mipmap和分辨率设置，并为凹凸贴图，反射映射，视差映射，屏幕空间环境遮挡（SSAO）， 动态阴影贴图，渲染到纹理和全屏幕后处理效果的阴影提供支持。Unity还为开发者体统服务，包括：Unity广告，Unity分析，Unity认证，Unity云构建，Unity Everyplay，Unity IAP，Unity多人游戏，Unity性能报告和Unity写作。

Unity支持使用Cg(Microsoft的高级着色语言修改版本)创建自定义顶点，片段（或像素），向前计算着色器和Unity自己的表面着色器。

第二章 LeapMotion基本原理

2.1 LeapMotion的传感器结构

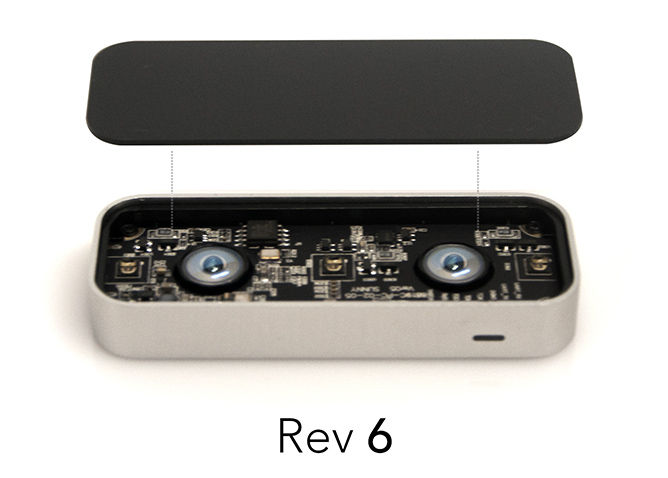
从API的角度来看，LeapMotion传感器的结构如下：

图2-1-1

大体上，Leap传感器根据内置的两个摄像头从不同角度捕捉的画面，重建出手掌在是世界三维空间的运动信息。检测的范围大体在传感器上方25毫米到600毫米之间，检测的空间大体是一个倒四棱锥体。

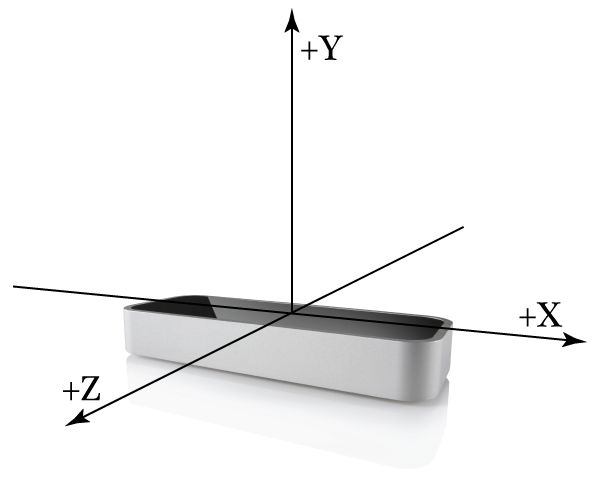
首先，Leap Motion传感器会建立一个直角坐标系坐标的原点是传感器的中心，坐标的X轴平行于传感器，指向屏幕右方，Y轴指向上方，Z轴指向背离屏幕的方向，单位为真实世界的毫米。如图所示：

图2-1-2

在使用过程中，Leap Motion传感器会定期的发送关于手的运动信息，每份这样的信息成为帧（frame）.每一个这样的帧包含检测到的：

·所有手掌的列表及信息；

·所有手指的列表及信息；

点手持工具（细的，笔直的，比手指场的东西，例如一支笔）的列表及信息

·所有可指向对象（Pointable Object），即所有手指和工具的列表及信息；

2.2 Leap Motion的数据收集

Leap传感器会给所有这些分配一个唯一标识（ID），在手掌、手指、工具保持在视野范围内时是不会改变的。根据这些ID，可以通过Frame::hand()，Frame::finger()，等函数来查询每个运动对象的信息。

Leap可以根据每帧和前帧检测到的数据，生成运动信息。例如，若检测到两只手，并且两只手都朝一个方向移动，就认为是平移，若像握着球一样转动，则记为旋转。若两只手靠近或分开，则记为缩放。所产生的数据包含：

·旋转的轴向向量

·旋转的角度（顺时针为正）

·描述旋转的矩阵

·缩放因子

·平移向量

对于每只手，可以检测到如下信息：

·手掌中心的位置（三维向量，相对于传感器坐标原点，毫米为单位）

·手掌移动的速度（毫米每秒）

·手掌的法向量（垂直于手掌平面，从手心向外）

·根据手掌弯曲的弧度确定虚拟球体的中心；

·根据手掌弯曲的弧度确定的虚拟球体的半径

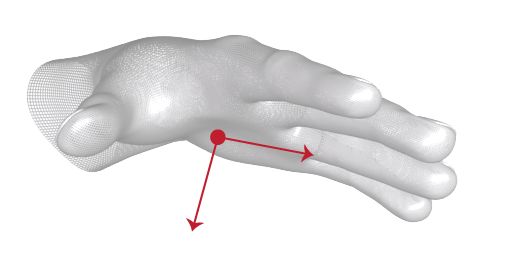
其中，手掌的法向量和方向如下图所示：

图2-2-1

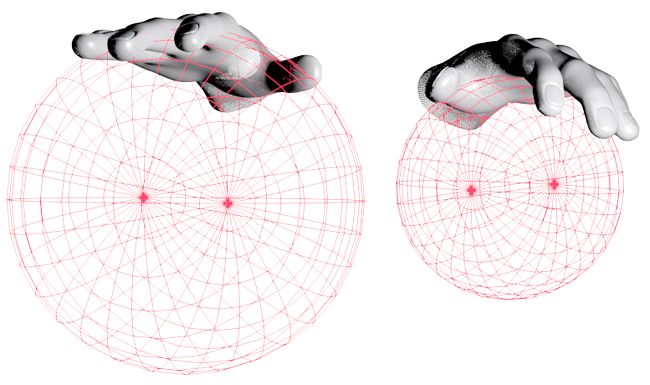
[手掌球]的圆心和半径

图2-2-2

对于每个手掌，可以检测出平移，旋转（如转动手腕带动手掌转动）、缩放（如手指分开聚合）的信息。检测的数据如全局变换一样，包括：

·旋转的轴向向量

·旋转的角度

·描述旋转的矩阵

·缩放因子

·平移向量

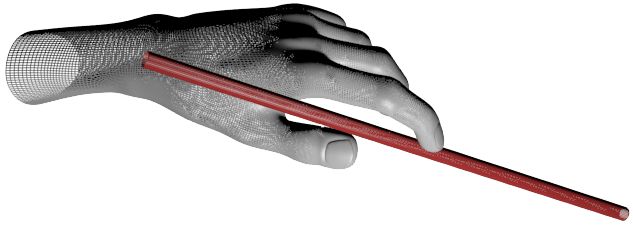
Leap除了可以检测手指外，也可以检测手持的工具。像上文所说的，就是细的，笔直的，比手指长的物件

图2-2-3

对于手指和工具，会统一地成为可指向对象（Pointable Object），每个Pointable Object包含了这些信息：

·长度

·宽度

·方向

·指尖位置

·指尖速度

方向和指尖位置如下图

图2-2-4

Leap Motion可以识别特定的运动模式，用户可以靠这些手势发令。手势和手指，手等其他运动跟踪数据的传回方式一样，每发现一个手势就像帧中自动添加一个手势对象，可以从帧中的手势列表获取手势对象。

Leap Motion可以识别的运动模式包括：

·circle画圆，一根手指画一个圆

·swipe挥扫，手的线性运动

·key tap击键，敲键盘一样的轻击

·screen tap触屏，触摸垂直屏幕一样的轻击

Leap Motion首次识别出一个手势后将其加入帧，如果这是一个持续性动作，Leap Motion将一个更新的手势对象加入后续帧。画圆和挥扫是持续性动作，Leap Motion在每一帧更新这些手势，tap轻击是不联系的动作，所以每次敲击只需一个收拾对象。

程序中，想使用某个手势钱，需要调用Controller类中的enableGesture()方法启用该手势的识别。

画圆：可以用手指和工具画圆，手势开始后Leap Motion会一直更新这个过程直到手势结束或者工具离开园的轨道或动作过慢视为手势结束。相关API：CircleGresture

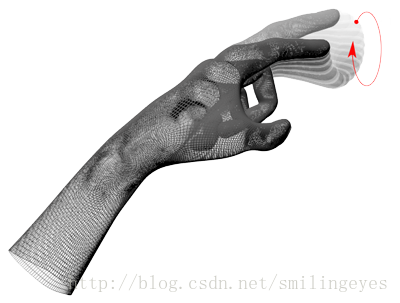


图2-2-5

挥扫，相关API：SwipeGesture

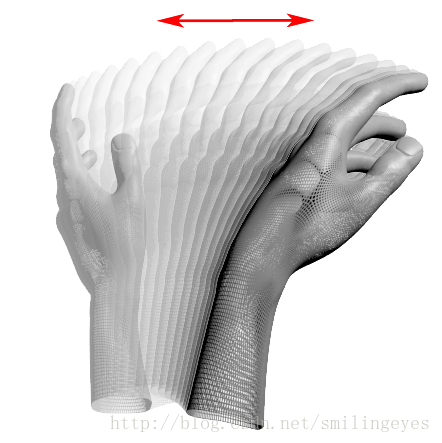


图2-2-6

击键：快速的向下敲击被视为一次击键手势。相关API：KeyTapGesture



图2-2-7

触屏：快速向前轻击被视为一次触屏手势，相关API：ScreenTapGesture



图2-2-8

根据全局的信息、运动变换，手掌、手指和工具的信息和变换，开发者就可以靠这些来制作游戏和程序了。

2.3 LeapMotion的工作原理

2.3.1 LeapMotion的立体视觉原理

Leap Motion 控制器采用立体视觉原理，配备双摄像头的控制器如同人眼一样，能够对空间物体进行坐标定位。为了方便理解，大家可以试着快速轮流闭合左右眼可以看到物体的位置会发生平移，这就是视差。一旦出现视差，就可以在人脑中产生空间纵深的感觉，这就是3D电影的基本工作原理。电影在制作的时候分别拍摄给左右眼看的画面，人为制造视差，所以在观看平面画面时会产生三维空间错觉，当然这个视差是不能随意定义的，必须和人眼瞳孔的间距匹配起来，这个称之为基线长度。不同年龄，性别，种族的人群的诗句基线长度都略有差别，所以3D电影不一定适合所有人群观看。

这种应用于立体视觉的测量方法，被称之为三角测量法。三角测量法是用于定位目标空间位置最常用和最基本的方法，应用场合小到常见的Kinect，激光反求等，大到飞机装配等高精度作业环境。在Leap Motion控制器的双摄像头基线距离固定后，就可以进行设备校准。校准后的控制器可以精确计算出目标对于摄像头的空间坐标。

2.3.2 LeapMotion控制器的工作过程

以上为Leap Motion的基本工作原理，接下来介绍控制器的工作过程。当我们把手伸到控制器的工作区时，两个摄像头需要同时捕捉目标，并且实时计算目标的视差，就可以得到它的空间信息。这里所说的目标是指已经过滤后的目标信息，如指尖和掌心，在这样的情况下，通过控制器再来做三维扫描的方法是无法实现的。控制器的工作区域必须是双摄像头的公共视场区域，所以过于复杂的多点姿势操作，Leap Motion控制器是无法识别的。

2.3.3 LeapMotion的照明部分与计算效率

为了更加方便地识别目标，控制器上的LED灯需要对目标进行照明，加强目标与背景的亮度对比，使之更加容易识别，同时使设备的光线较暗的环境中也可以使用。相反，如果在室外有太阳或者红外光比较充足的地方，则会影响控制器的正常使用。

Leap Motion在算法上主要采用了TBD技术。该技术的一大优点就是能够准确跟踪目标，但是缺点是对于内存有一定压力而且也会需要一定的计算量，并且还采用了高帧率的双摄像头。从官方的文档上可知，在未来Leap Motion会通过数学模型的优化再来减低CPU的占用资源。

第三章 LeapMotion手势控制的建立

3.1 LeapMotion手势在Unity中的建立

3.1.1 Leap Motion资源以及插件

Leap Motion的Unity资源包提供了一个简单的方式将运动控制的手模型加入到Unity游戏去。

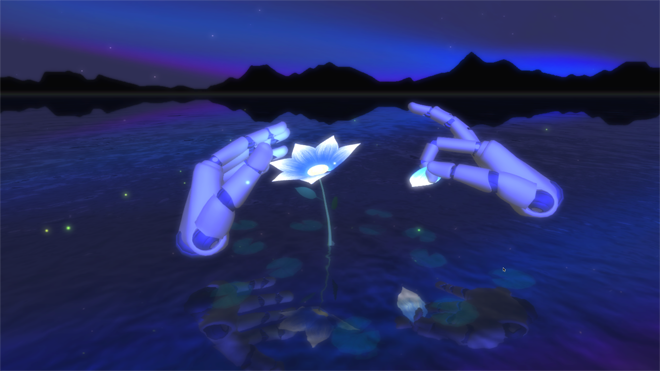


图3-1-1-1

系统要求：

·Leap Motion版本2.3.1+

·Unity 5.1+

·Windows 7，Windows 8，Mac OS X

3.1.1.1 安装

·从Leap Motion 的官方网站上下载最新的资源包。

·打开或者创建一个项目。

·选择Unity中的Assets>Import Package>Custom Package菜单命令。

·选中下载的资源包并且打开，之后便可以导入资源包。

3.1.1.2 故障排除

如果在加载HandController预制体到场景中并运行后没有看到手模型出现，可以检查一下原因：

·手在场景摄像机的事业内，并且不被另一个3D对象所遮挡，同时足够大以便可见。3D指针显示在HandController预制体的位置上方。

·暂停游戏并检查手的模型是否在Unity编辑器的Hierachy结构视图中。如果在的话，在编辑场景视图中找到它们。

·确保Unity Editor（或应用程序，如果在编辑器外部运行）具有OS的输入焦点。（Leap Motion服务仅将数据发送到活动的应用程序）。

·检查任务栏中的Leap Motion图标是否变为绿色。如果图标颜色变暗，Leap Motion的服务将不会发送数据。在这种情况下，仔细检查Leap Motion硬件是否已插入并检查服务是否正在运行。

·从任务栏图标菜单中打开Leap Motion Visualizer。如果在Visualizer中看到了问题报告，那么问题很可能出现在Unity的插件，脚本或者开发者自己的应用程序里。如果Visualizer中没有手，那问题是在Unity引擎之外的。

3.1.2 Unity插件概述

Leap Motion Controller跟踪手部和手指，并以低延迟和高准确度报告位置，速度和方向。该控制器可用于桌面或安装在VR耳机上。

Leap Motion控制器系统包含一个硬件设备和一个作为主机上的服务或后台运行程序运行的软件组件。软件组件分析硬件产生的图像并将跟踪信息发送给应用程序。Leap Motion Unity插件连接到此服务以获取数据，随插件包含的脚本将Leap Motion坐标转换为Unity坐标系。这些脚本和附加图形资源可以轻松地讲3D动作控制的手部添加到Unity场景中。

3.1.2.1 坐标系统

Unity3D为其坐标系统使用左手坐标，Leap Motion API使用右手坐标。（本质上，Z轴指向相反的方向。）Unity也使用默认的米单位，Leap Motion API使用毫米。插件脚本内部转换数据以使用左手坐标系并将距离值缩放到米。

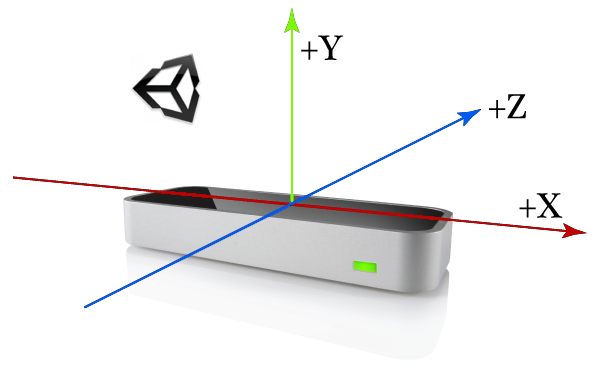


图3-1-2-1-1

桌面方向上，Unity左手坐标系统叠加在Leap Motion设备上。

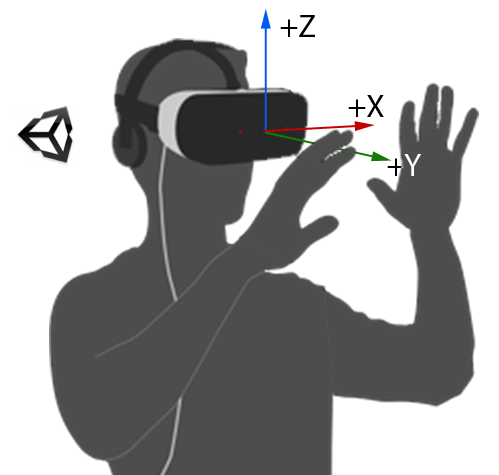


图3-1-2-1-2

Unity坐标系统以HMD方向叠加在Leap Motion设备上。

当你直接从Leap C#库中得到某个跟踪数据类的时候，数据位于本地Leap坐标系中，而不是Unity坐标系。开发者可以直接使用LeapUnityExtensions文件中的程序功能将Leap Motion左边转换为Unity坐标。ToUnity（）将轴从右手转换为左手并返回Unity Vector3类型的对象。

ToUnityScaled（）也可以将坐标从milimeters转换meters。ToUnity（）通常与方向向量一起使用。

3.1.2.2 手部追踪

Leap Motion控制器使用光学传感器和红外灯。这些传感器具有约150°的视野。Leap Motion控制器的有效范围从设备上方约0.03至0.6米。



图3-1-2-2-1

Leap Motion控制器的桌面模式

当控制器清晰，高对比度地查看物体轮廓时，检测和跟踪效果最佳。Leap Motion软件将其传感器数据与人手的内部模型相结合，以帮助应对具有挑战性的跟踪条件。

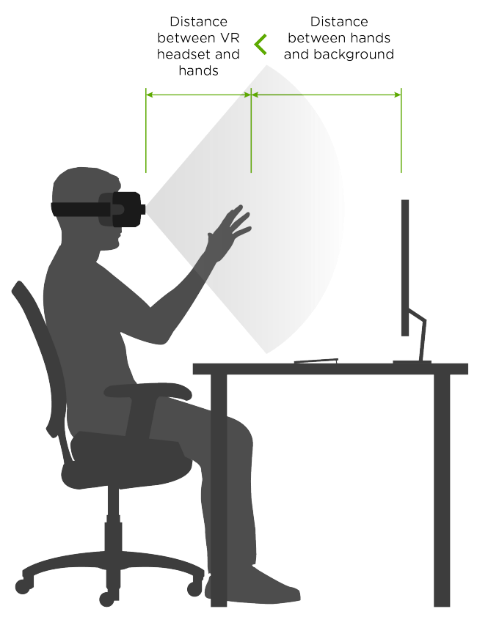


图3-1-2-2-2

特别是在HMD模式下，应该确保传感器与手之间的距离更小

3.1.3 VR设置

Leap Motion Core Unity Assets提供的LMHeadMountedRig预制件，可以为虚拟场景和增强现实场景提供完整的相机和手持控制器设置。这种预制可以实现简单的配置，可以使用Leap Motion相机的图像或3D模型来呈现手部模型。

LMHeadMountedRig中的脚本自动将立体摄像机位置调整到正确的瞳距，并自动补偿AR场景中的视频滞后。

要在Unity中设置虚拟或者增强现实场景：

·在Unity中打开或创建一个新项目。

·启用Unity虚拟现实支持。

·使用Edit>Project Settings>Player菜单命令现实播放器设置。

·在其他设置类别下，选中虚拟现实支持复选框。

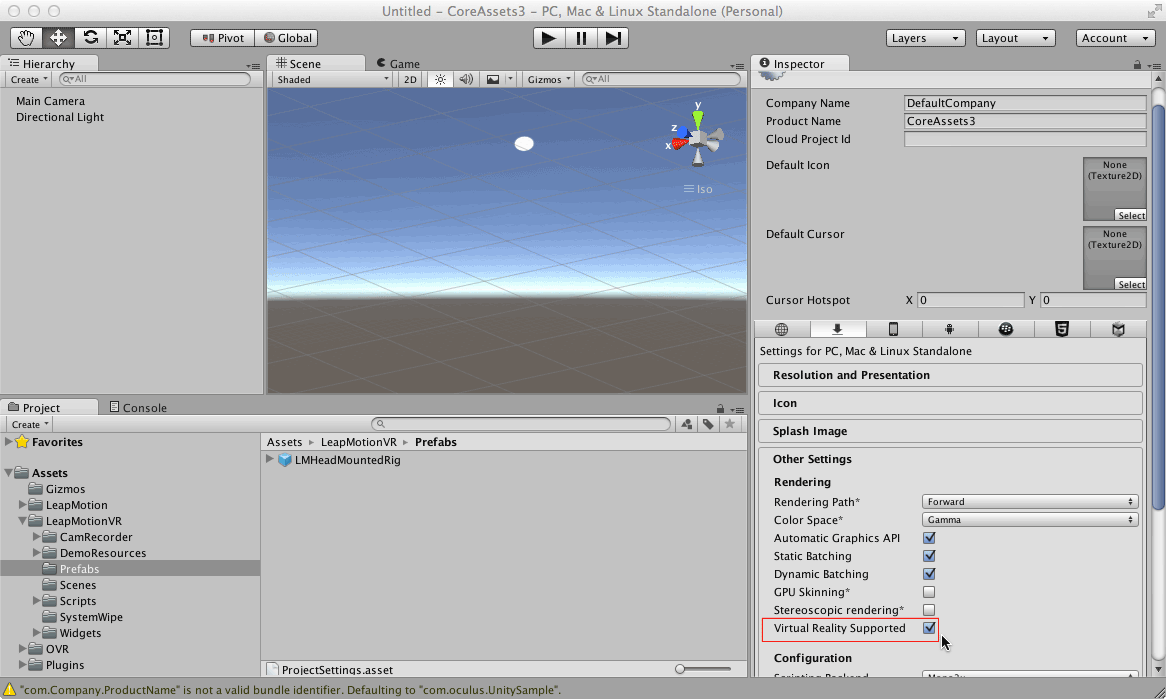


图3-1-3-1

·打开或创建一个新场景

·删除现有的不需要的相机

·从Assets/LeapMotionVR/Prefabs文件夹中将LMHeadMountedRig预制件拖到场景中。

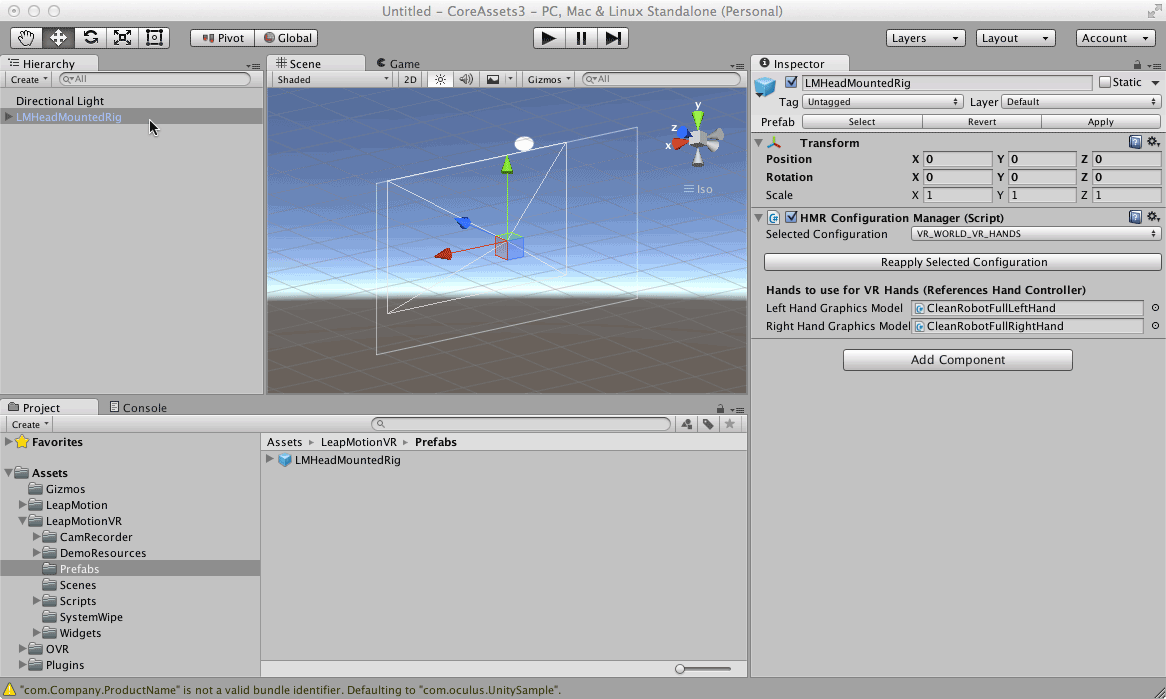


图3-1-3-2

·在场景中设置摄像机的方向和位置。

·根据配置选项，可以选择的有：

·VR World VR hands 不透明3D世界中的3D模型手

·VR World AR hands 带有相机图像指针的不透明的3D世界

·AR World AR hands 相机图像被用作3D世界和手部的背景

·如果使用VR指针选项，可以从Assets/LeapMotion/Prefabs文件夹中指定所需的预制体

·直接在HandController组件上设置手工预制件以及物理手工预制件，它们深深嵌套在LMHeadMountedRig对象内。更改所选配置将重置所有手型号，同样会点击“重新应用所选配置”按钮。

·按播放按钮进行测试。

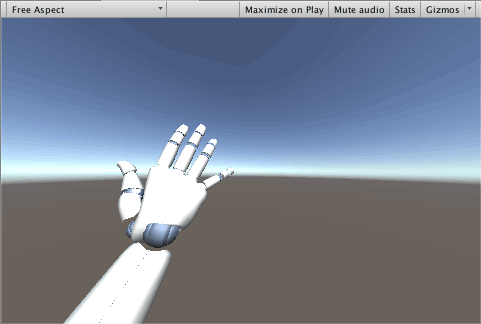


图3-1-3-3

·保存场景。

之后就可以按照所希望地向场景里添加其他内容了。

3.1.4 手的资源包

用于Unity的Leap Motion核心资源包包括大量预制体。开发者可以按照原样使用这些预制体，修改它们或者创建自己的预制件。

有几种不同的创建手的方法，包括为手部分创建独立组件，并分别移动这些部件，创建用骨架操纵的网格手，并通过旋转骨骼是网格变形，以及创建由代码驱动的手部模型后，在其上创建自己的图形。现有的预制件使用这三种方法。

HandController类协调跟踪数据到手和手指的采集和应用。HandModel和FingerModel类用作手和手指动画的基类。有几个扩展类比如HandModel和FingerModel类来实现特定类型的动画。这些特定的类，如SkeletalHand/Finger和RiggedHand/Finger,可用于多个手部设计，只要他们所连接的对象遵循相同的基本结构即可。

图形和物理手分成两个不同的预制件。开发者可以使用任何物理手开发成最适合的手模型。例如，RigidFullHand包括一个刚体和手臂的碰撞体，因此可以将它与包含手臂图形的模型一起使用，当手臂会与场景中其他物体发生碰撞时。

以下是几种手部模型的展示图：

·Image Hands；ImageFullHand；RiggedHand/Finger

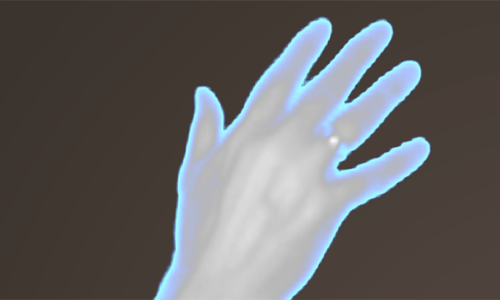


图3-1-4-1

·Procedural Hands；PolyHand1/2/3，DebugHand；PolyHand/Finger，DebugHand/Finger

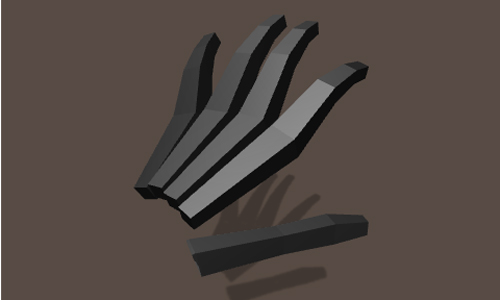


图3-1-4-2

·Component Hands；MinimalHand，CleanRobotHand，GlowRobotHand；SkeletalHand/Finger

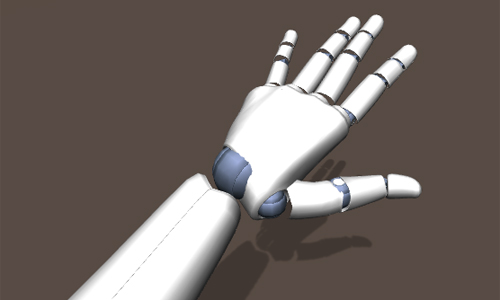


图3-1-4-3

·Rigged Hands；All the human models；RiggedHand/Finger



图3-1-4-4

·Physics Hands；RigidHand，RigidFullHand，RigidRoundHand，ThickRigidHand；RigidHand/Finger

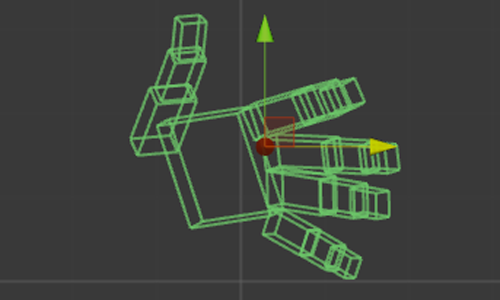


图3-1-4-5

将HandController添加到场景后，可以通过将所需要的手工预制件拖动到Hand Graphics Model插槽来设置图形模型。

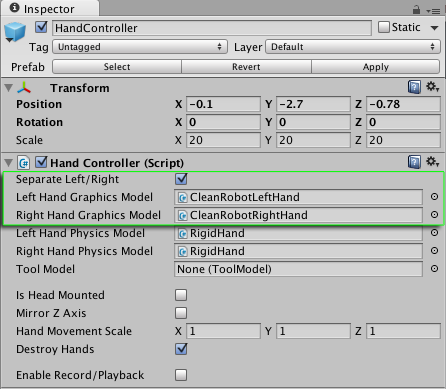


图3-1-4-6

如果选中了分离的左/右设置，则可以为左右手使用不同的预制件。否则，HandController使得双手为同一个镜像模型。现有的预制件在所有标有“右”或“左”的地方都有标注（如果使用错误的手型，错误将会很明显）。

想改变手模型的大小，需要修改HandController预制体的Transform Scale属性。Scale值为1的话表示为真实大小，但是通常太小，这取决于不同的场景。例如，默认的Unity立方体边长1米，这样会使手的尺寸看起来很小。将手变得更大也会增加它们的移动范围。通过增加HandController手部移动比例值，可以进一步增加动作范围而不会增加手部的大小。

在VR和AR的场景中，情况会有所不同。在实际情况下应该使用1:1比例。由于Leap Motion跟踪数据已经使用了现实世界的单位，因此将HandController缩放比例设置为1，并将HandController对象放置在相对于相机相同的位置，因为实际上设备是处于两眼之间的相对位置的。对于VR/AR应用程序，应该使用LeapMotionVR文件夹中的LMHeadMountedRig预制体替代HandController预制体，并且将这些物体进行自动调整。

设置Head Mounted将会提供Leap Motion服务的提示，即从Head Mounted位置查看手部模型并提高手部识别度。该设置不会自动旋转游戏界面中的手以显示手在HandController的前方而不是上方。为此，可以将HandController旋转至设置为{x=270，y=180，z=0}。

3.1.5 工具介绍（Widgets）

Leap Motion核心组件包括的UI控件包含以下几种：

·DemoDial – a scrolling list

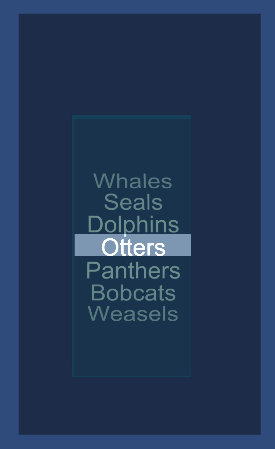


图3-1-5-1

·DemoScrollText – a scrolling text box

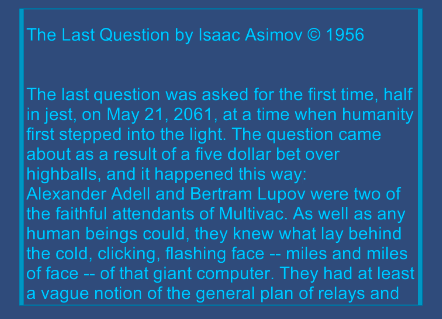


图3-1-5-2

·DemoSlider – a slider control

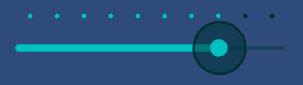


图3-1-5-3

·DemoToggkeButton – a two-state button



图3-1-5-4

以上这些小部件的预制件都可以在Core Assets中的LeapMotion/Widgets中的Prefabs文件夹中找到。

3.1.5.1 添加Widget到场景

3.1.1 SDK库

Leap Motion 库是用C++编写的。Leap Motion还使用SWIG（一种开源工具）为C#，Java，和Python生成语言绑定。SWIG生成的绑定将使绑定的编程语言编写的调用转换为基本C++ Leap Motion库中的调用。 每个SWIG绑定使用两个附加的库。对于JavaScript和Web应用程序开发，Leap Motion提供了一个WebSocket服务器和一个客户端JavaScript库。

除了Leap.js客户端JavaScript库外，Leap Motion SDK中还包含了开发支持Leap的应用程序和插件所需的所有库，代码和头文件。如果想使用这些文件，需要从Leap Motion Developer Portal下载Leap Motion SDK。每个支持的操作系统由一个SDK包。

Unity5和虚幻引擎4.9的插件与主SDK分开提供。Unreal插件包含在虚幻引擎4.9+。

完整的Unity资源包是单独提供的。SDK中不包含手型，Unity特定脚本和演示场景。通常情况下，下载和导入整个资源包比较容易，但是插件文件也包含在SDK lib/UnityAssets文件夹中。从Unity5开始，Pro和Personal都支持插件。

通常在Unity中，脚本语言使用的是C#。C#类定义是为独立库中的.NET 3.5和.NET 4.0提供的，使用代码可以引用LeapCSharp.NET3.5.dll或者LeapCSharp.NET4.0.dll（在所有支持的操作系统上使用相同的库名称）。这些库加载libCSharp.dylib（Mac），LeapCsharp.dll（Windows）或libLeapCSharp.so（Linux）。中间库加载libLeap.dylib, Leap.dll或libLeap.so。

3.1.2 创建项目

首先，以通常的方式创建一个新的Unity项目，即

·打开Unity编辑器

·选择File>New Project

·选择一个名称并保存位置

·点击保存项目

然后将Leap Motion资源包导入项目中。

接下来下载资源包，在下载完成之后，选择Unity中的Asset>Import Package>Custom Package menu command.找到下载的资源包，然后点击打开，资源包将被导入到项目中。如果要将资源包导入已包含Leap Motion资源的项目，建议先删除旧的资源。Unity导入过程指挥添加新文件并覆盖已修改的文件，它并不会删除过时的文件。

3.1.3 添加预制体

将手持控制器预制体放置与希望出现的点的下方。相对于真正的Leap Motion谁被，场景中的双手位于与真实双手相同的位置。并且可以通过更改HandController对象的缩放比例来更改手的大小，并更改“手部移动比例”设置来允许双手在较大的音量范围内移动。

通过将不同的预制件拖动到左/右图形模型插槽来更改手部图形。

接下来介绍为场景添加手势的基本步骤：

·在Project面板中，找到Assets/LeapMotionPrefabs中的HandController预制件

·将HandController预制件拖到场景视图中

·将预制件位置设置到所需要的坐标

·为了看到手，HandController必须位于摄像机的视野内

·设置手部比例尺以适当的数值，将手放入场景中，1的比例意味着双手呈现其实际尺寸

·将HandController的左右手图形模型属性设置为HandModerlsHuman或HandModelsNonHuman预制文件夹中所需要的预制体。（一般来说不需要从RigidHand中更改物理模型）

·将所有物体调试完毕后即可开始测试手的模型

当现实中的双手放在Leap Motion设备上时，可以看到双手出现在Hierarchy面板以及Game视图中。如果在Hierarchy中看不到手，可以在Leap Motion控制面板中打开展示台，确保Leap Motion设备已经连接并且发送跟踪数据。在Unity中可以暂停游戏界面并使用Scene视图来查看具体细节。

3.1.4 访问Leap Motion的API

除了资源包中包含的预制体和脚本以外，开发者还可以编写自己的脚本来访问Leap Motion API来追踪数据。Leap Motion类在Leap命名空间中定义。访问Leap Motion API的基本MonoBehavior类将如下所示：

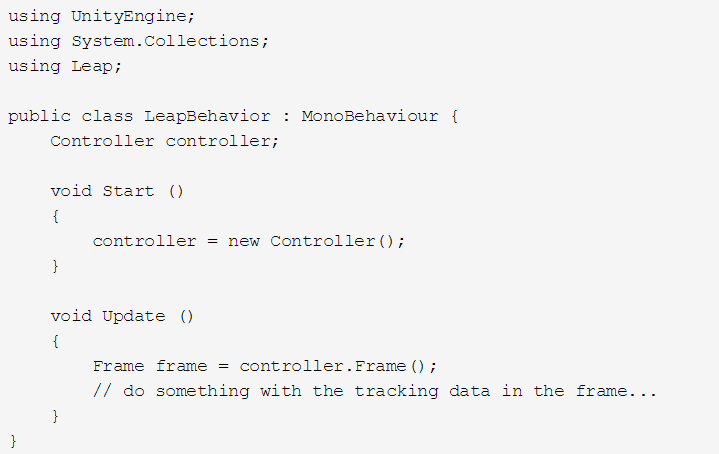


图3-1-4-1

需要注意的是，上图的示例不使用Leap.Listener子类。由于Unity应用程序具有自然的帧频，因此当Unity引擎调用函数时，Update（）函数可以从Leap Motion控制器获取当前数据帧。

Assets/LeapMotion/Scripts/Utils中的脚本LeapUnityExtensions,cs提供了将向量和矩阵从Leap Motion API类转化为Unity API类以及转换比例和坐标系的功能。

3.2 LeapMotion手势的形成