一般_备忘录

笔记本： DirectX 12
创建时间： 2022/8/2 0:42 **更新时间：** 2022/9/3 10:05
作者： handsome小赞

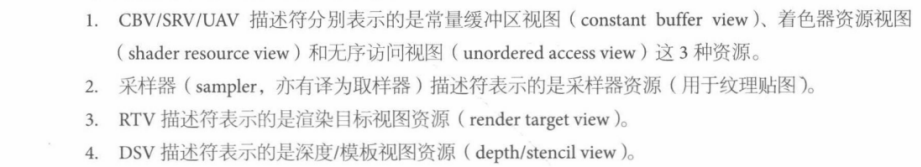
- **COM**（组件对象模型 Component Object Model），通常将COM对象视为一种接口，当前暂时将它当作一个C++来使用

  > COM类接口大都以“ I ”开头

- **数据格式**一般以“ DXGI_FORMAT ”开头，也有以“D3D12”开头的

  > 例如，纹理格式（深度缓冲区也是一种纹理）

- **描述符** （view / descriptor） / **描述符堆**（descriptor heap）

  > 资源描述符实际做了两件事：
  > 1. 告知Direct3D这些资源将被如何使用（即我们将资源绑定到流水线的哪个阶段）
  > 2. 如果以无类型格式来创建资源，那么我们就一定要在为它创建视图时指定其具体类型。这样，若使用了无类型格式，我们就能在某个流水线阶段中将纹理的元素视为浮点值，而在另一流水线步骤中将该纹理的元素视为整数，这一过程其实就相当于对数据进行强制转换。
  >
  > 
  > 1. CBV/SRV/UAV 描述符分别表示的是常量缓冲区视图（constant buffer view）、着色器资源视图（shader resource view）和无序访问视图（unordered access view）这 3 种资源。
  > 2. 采样器（sampler，亦有译为取样器）描述符表示的是采样器资源（用于纹理贴图）。
  > 3. RTV 描述符表示的是渲染目标视图资源（render target view）。
  > 4. DSV 描述符表示的是深度/模板视图资源（depth/stencil view）。
  >
  > - **相关数据类型**：（不全）
  >   1. `D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE` 描述符
  >   需要通过 ID3D12Device::Createxxxx创建
  >   （第三个参数应当指向从描述符堆获取的描述符地址）
  >   例如：
  >   - `ID3D12Device::CreateRenderTargetView` 创建渲染目标描述符
  >   - `ID3D12Device::CreateDepthStencilView` 创建深度/模板描述符
  >   2. `CD3DX12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE` 描述符
  >   3. `D3D12_VERTEX_BUFFER_VIEW` 顶点描述符（与一般的描述符不同，不需要创建描述符堆）
  >   4. `D3D12_INDEX_BUFFER_VIEW` 索引描述符（与一般的描述符不同，不需要创建描述符堆）
  >   5. `CD3DX12_DESCRIPTOR_RANGE` 描述符表

- **多重采样**

> 在创建交换链缓冲区和深度缓冲区时都需要填写 DXGI_SAMPLE_DESC 结构体。当创建后台缓冲区和深度缓冲区时，多重采样的有关设置一定要相同[1]。
>
> **注意** 上方描述不准确，Direct3D 12 并不支持创建MSAA交换链!
> 因为 MSAA 仅支持旧格式“bit-blt”类型交换链，关于解决方案，用户需要自己创建 MSAA的渲染目标。在《Simple rendering》一文中已给出了正确的方案。微软也提供了演示程序，参见 SimpleMSAA_UWP12 例程。

- **DirectX 图形基础结构/设施（DXGI）**，使多种图形API种所共有得底层任务能借助一组通用API来处理。主要用于创建 IDXGISwapChain 接口及枚举显示器适配器。
- **显示适配器（display adapter）**，适配器用接口 IDXGIAdapter 来表示
- **显示输出（display output）**，用接口 IDXGIOutput 来表示
- **资源驻留**（residency）
- **命令队列 / 命令列表 / 命令分配器（command allocator)**

> 记录在命令列表内的命令，实际上是存储在与之关联的命令分配器上。当通过 ID3D12CommandQueue::ExecuteCommandLists 方法执行命令列表的时候，命令列表就会引用分配器里的命令
> 注意，在没有缺点GPU执行完 command allocator 中所有命令前，千万不要重置命令分配器!

- **IID_PPV_ARGS** 辅助宏

> ```
> #define IID_PPV_ARGS(ppType) __uuidof(**(ppType)), IID_PPV_ARGS_Helper(ppType)
> ```
> 其中，__uuidof(**(ppType))将获取(**(ppType))的 COM 接口 ID（globally unique identifier，全局唯一标识符，GUID），在上述代码段中得到的即为 ID3D12CommandQueue 接口的 COM ID。IID_PPV_ARGS 辅助函数的本质是将 ppType 强制转换为 void**类型。我们在全书中都会见到此宏的身影，这是因为在调用 Direct3D 12 中创建接口实例的 API 时，大多都有一个参数是类型为 void**的待创接口 COM ID。

- **围栏**（fence），**刷新命令队列**，强制CPU等待，直到GPU完成所有命令的处理，达到某个指定的围栏点为止。围栏用 **ID3D12Fence** 接口来表示
- **资源屏障**
- **初始化Direct3D**

> 1. 用 D3D12CreateDevice 函数创建 ID3D12Device 接口实例。
> 2. 创建一个 ID3D12Fence 对象，并查询描述符的大小。
> 3. 检测用户设备对 4X MSAA 质量级别的支持情况。
> 4. 依次创建命令队列、命令列表分配器和主命令列表。
> 5. 描述并创建交换链。
> 6. 创建应用程序所需的描述符堆。
> 7. 调整后台缓冲区的大小，并为它创建渲染目标视图。
> 8. 创建深度/模板缓冲区及与之关联的深度/模板视图。
> 9. 设置视口（viewport）和裁剪矩形（scissor rectangle）。

> **1.** 创建设备，利用函数D3D12CreateDeviece 创建接口实例**md3dDevice**

> **2.** 创建围栏，md3dDevice -> CreateFence 创建围栏**mFence**

3. 获取描述符大小，示例如下
1. **渲染目标描述符大小** `mRtvDescriptorSize` = md3dDevice -> `GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_RTV)`
2. **深度/模板描述符大小** `mDsvDescriptorSize` = md3dDevice -> `GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_DSV)`
3. **常量缓冲区描述符大小** `mCbvDescriptorSize` = md3dDevice -> `GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV)`

4. 检测对 4X MSAA 质量级别的支持，md3dDevice -> `CheckFeatureSupport`

5. 创建命令队列和命令列表，直接参考`D3DAPP::CreateCommandObjects`

6. 描述并创建交换链，`IDXGIFactory::CreateSwapChain`
注意描述 SampleDesc 的 Quality，其值需要通过 **(4** 来获取

7. 创建描述符堆，以 `ID3D12DescriptorHeap` 接口来表示，用 `ID3D12Device::CreateDescriptorHeap` 方法来创建，示例如下（参考 `D3DAPP::CreateRtvAndDsvDescriptorHeaps`）
1. **mRtvHeap**，存储 SwapChainBufferCount 个 RTV
2. **mDsvHeap**，存储 DSV（暂时用一个）
3. 注意， **顶点缓冲区描述符 不需要** 创建descriptor heap
4.

在本书的应用框架中有以下定义：

```
static const int SwapChainBufferCount = 2;
int mCurrBackBuffer = 0;
```

其中，mCurrBackBuffer 是用来记录当前后台缓冲区的索引（由于利用页面翻转技术来交换前台缓冲区和后台缓冲区，所以我们需要对其进行记录，以便搞清楚哪个缓冲区才是当前正在用于渲染数据的后台缓冲区）。

创建描述符堆之后，还要能访问其中所存的描述符。在程序中，我们是通过句柄来引用描述符的，并以 ID3D12DescriptorHeap::GetCPUDescriptorHandleForHeapStart 方法来获得描述符堆中第一个描述符的句柄。借助下列函数即可获取当前后台缓冲区的 RTV 与 DSV：

```
D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE D3DApp::CurrentBackBufferView()const
{
  // CD3DX12 构造函数根据给定的偏移量找到当前后台缓冲区的 RTV
  return CD3DX12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE(
    mRtvHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart(),// 堆中的首个句柄
    mCurrBackBuffer,    // 偏移至后台缓冲区描述符句柄的索引
    mRtvDescriptorSize); // 描述符所占字节的大小
}

D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE D3DApp::DepthStencilView()const
{
  return mDsvHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart();
}
```

通过这段示例代码，我们就能够看出描述符大小的用途了。为了用偏移量找到当前后台缓冲区的 RTV 描述符[1]，我们就必须知道 RTV 描述符的大小。

8. 创建渲染目标视图 / 描述符
1. 缓冲区资源需要用 `ID3D12Device::CreateCommittedResource` 方法来创建。缓冲区资源由 `D3D12_RESOURCE_DESC` 结构体表示
（Direct3D 12提供了一个C++包装类 `CD3DX12_RESOURCE_DESC` 结构体，它派生自 `D3D12_RESOURCE_DESC` ，它提供了如下简化的构造函数：
`CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer`，

CD3DX12_RESOURCE_DESC::Tex1D，Tex2D，Tex3D等）。

1. pHeapProperties：（资源欲提交至的）堆所具有的属性。有一些属性是针对高级用法而设。目前只需关心 D3D12_HEAP_PROPERTIES 中的 D3D12_HEAP_TYPE 枚举类型这一主要属性，其中的成员列举如下。
   a）D3D12_HEAP_TYPE_DEFAULT：默认堆（default heap）。向这堆里提交的资源，唯独 GPU 可以访问。举一个有关深度/模板缓冲区的例子：GPU 会读写深度/模板缓冲区，而 CPU 从不需要访问它，所以深度/模板缓冲区应被放入默认堆中。
   b）D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD：上传堆（upload heap）。向此堆里提交的都是需要经 CPU 上传至 GPU 的资源。
   c）D3D12_HEAP_TYPE_READBACK：回读堆（read-back heap）。向这种堆里提交的都是需要由 CPU 读取的资源。
   d）D3D12_HEAP_TYPE_CUSTOM：此成员应用于高级场景——更多信息可详见 MSDN 文档。

2. **IDXGISwapChain::GetBuffer**，可用于获得存于交换链中的缓冲区资源

3. **ID3D12Device::CreateRenderTargetView**，为获取的后台缓冲区创建渲染目标描述符。（仅仅有交换链和描述符堆还不够，还需要有描述符）

```
ComPtr<ID3D12Resource> mSwapChainBuffer[SwapChainBufferCount];
CD3DX12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE rtvHeapHandle(
  mRtvHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart());
for (UINT i = 0; i < SwapChainBufferCount; i++)
{
  // 获得交换链内的第 i 个缓冲区
  ThrowIfFailed(mSwapChain->GetBuffer(
    i, IID_PPV_ARGS(&mSwapChainBuffer[i])));

  // 为此缓冲区创建一个 RTV
  md3dDevice->CreateRenderTargetView(

    mSwapChainBuffer[i].Get(), nullptr, rtvHeapHandle);

  // 偏移到描述符堆中的下一个缓冲区
  rtvHeapHandle.Offset(1, mRtvDescriptorSize);
}
```

9. 创建深度 / 模板缓冲区及其视图 / 描述符，

1. 深度缓冲区其实是一种2D纹理，纹理是一种GPU资源，因此需要填写 D3D12_RESOURCE_DESC 结构体来描述纹理资源，通过 ID3D12Device::CreateCommittedResource 方法来创建它。

2. 在使用深度/模板缓冲区前，一定要创建相关的深度/模板描述符，并绑定到渲染流水线上，类似于 **(8**

3. 在创建深度/模板描述符后，需要将深度 / 模板缓冲区资源从初始状态转换为深度缓冲区

```
// 将资源从初始状态转换为深度缓冲区
mCommandList->ResourceBarrier(
  1,
  &CD3DX12_RESOURCE_BARRIER::Transition(
    mDepthStencilBuffer.Get(),
    D3D12_RESOURCE_STATE_COMMON,
    D3D12_RESOURCE_STATE_DEPTH_WRITE));
```

4. 注意，所有创建描述符的函数，第二位参数如果指定为 nullptr，表示将采用该资源创建时的格式，为它的第一个 mipmap层级创建一个描述符

10. 设置视口，通过 `ID3D12GraphicsCommandList::RSSetViewports` 方法来设置Direct3D中的视口
- 命令列表一旦被重置，视口也就需要随之重置

11. 设置剪裁矩形，通过 `ID3D12GraphicsCommandList::RSSetScissorRects` 方法来设置剪裁矩形，例如，剔除被矩形UI（UI位于某块区域的最上层）遮挡的3D空间中的像素，这部分像素将不会再被光栅化处理
- 命令列表一旦被重置，剪裁矩形也就需要随之重置

12. 观察空间

综上所述，只要给定摄像机的位置、观察目标点以及世界空间中“向上”方向的向量，我们就能构建出对应的摄像机局部坐标系，并推导出相应的观察矩阵。

DirectXMath 库针对上述计算观察矩阵的处理流程提供了以下函数：

```
XMMATRIX XM_CALLCONV XMMatrixLookAtLH(      // 输出观察矩阵 V
  FXMVECTOR EyePosition,                    // 输入虚拟摄像机位置 Q
  FXMVECTOR FocusPosition,                  // 输入观察目标点 T
  FXMVECTOR UpDirection);                   // 输入世界空间中向上方向的向量 j
```

一般来说，世界空间中的 y 轴方向与虚拟摄像机“向上”向量的方向相同，所以，我们通常将“向上”向量定为 $\boldsymbol{j}=(0,1,0)$。举个例子，假设我们希望把虚拟摄像机架设于世界空间内点$(5,3,-10)$的位置，并令它观察世界空间的原点（0, 0, 0），则构建相应观察矩阵的过程为：

```
XMVECTOR pos   = XMVectorSet(5, 3, -10, 1.0f);
XMVECTOR target = XMVectorZero();
XMVECTOR up    = XMVectorSet(0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f);

XMMATRIX V = XMMatrixLookAtLH(pos, target, up);
```

13. 投影和齐次裁剪空间

投影顶点

$$x' = \frac{\mathrm{x}}{\mathrm{ztan(a/2)}}$$

$$y' = \frac{\mathrm{y}}{\mathrm{ztan(a/2)}}$$

NDC，计算时，默认高为 2（[-1,1]），宽为 2r，纵横比为 r

$$x' = \frac{\mathrm{x}}{\mathrm{rztan(a/2)}}$$

$$y' = \frac{\mathrm{y}}{\mathrm{ztan(a/2)}}$$

1. **矩阵表示**，为了保持变换的一致性，需要用矩阵来表示投影变换。但是上面的公式的非线性特征（存在 z ），无法矩阵化，所以需要一分为二，线性部分和非线性部分1/z。

可以看到，我们在矩阵当中设置了常量 A 和常量 B（在下一节中会推导它们的定义），利用它们即可把输入的 z 坐标变换到归一化范围。令任意点$(x, y, z, 1)$与该矩阵相乘将会得到：

$$[x,y,z,1]\begin{bmatrix} \frac{1}{r\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A & 1 \\ 0 & 0 & B & 0 \end{bmatrix} = \left[\frac{x}{r\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \frac{y}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, Az+B, z\right] \tag{5.2}$$

2. **归一化深度值**，将z坐标从区间 [n,f] 映射到区间 [0,1]

$$g(z) = \mathrm{A} + \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{z}}$$

$$g(z) = \frac{\mathrm{f}}{\mathrm{f}-\mathrm{n}} + \frac{\mathrm{nf}}{(\mathrm{f}-\mathrm{n})\mathrm{z}}$$

3. **投影透视矩阵**

既然已经求得了 A 和 B，我们就可以确定出完整的**透视投影矩阵**（perspective projection matrix）：

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{f}{f-n} & 1 \\ 0 & 0 & \frac{-nf}{f-n} & 0 \end{bmatrix}$$

顶点 x 投影透视矩阵 但未进行透视除法前，几何体会处于 **齐次剪裁空间** 或 **投影空间** 中，待完成**透视除法**后，便是用规格化设备坐标NDC来表示几何体了。

我们可以利用 DirectXMath 库内的 XMMatrixPerspectiveFovLH 函数来构建透视投影矩阵：

```
// 返回投影矩阵
XMMATRIX XM_CALLCONV XMMatrixPerspectiveFovLH(
  float FovAngleY,     // 用弧度制表示的垂直视场角
  float Aspect,        // 纵横比 = 宽度 / 高度
  float NearZ,         // 到近平面的距离
  float FarZ);         // 到远平面的距离
```

下面的代码片段详细解释了 XMMatrixPerspectiveFovLH 函数的用法。在此例中，我们将垂直视场角指定为 45°，近平面位于 $z = 1$ 处，远平面位于 $z = 1000$ 处（这些长度皆以观察空间中的单位表示）。

```
XMMATRIX P = XMMatrixPerspectiveFovLH(0.25f*XM_PI,
AspectRatio(), 1.0f, 1000.0f);
```

纵横比采用的是我们窗口的宽高比：

```
float D3DApp::AspectRatio()const
{
  return static_cast<float>(mClientWidth) / mClientHeight;
}
```

14. 输入布局描述，对顶点结构体的描述

D3D12_INPUT_LAYOUT_DESC

— D3D12_INPUIT_ELEMENT_DESC

元素构成的数组

— UINT

数组中的元素数量

```
typedef struct D3D12_INPUT_ELEMENT_DESC
{
  LPCSTR SemanticName;
  UINT SemanticIndex;
  DXGI_FORMAT Format;
  UINT InputSlot;
  UINT AlignedByteOffset;
  D3D12_INPUT_CLASSIFICATION InputSlotClass;
  UINT InstanceDataStepRate;
} D3D12_INPUT_ELEMENT_DESC;
```

1，SemanticName： 语义

通过语义即可将顶点结构体中的元素与顶点着色器的输入签名中的元素一 一映射起来

2，SemanticIndex： 语义的索引

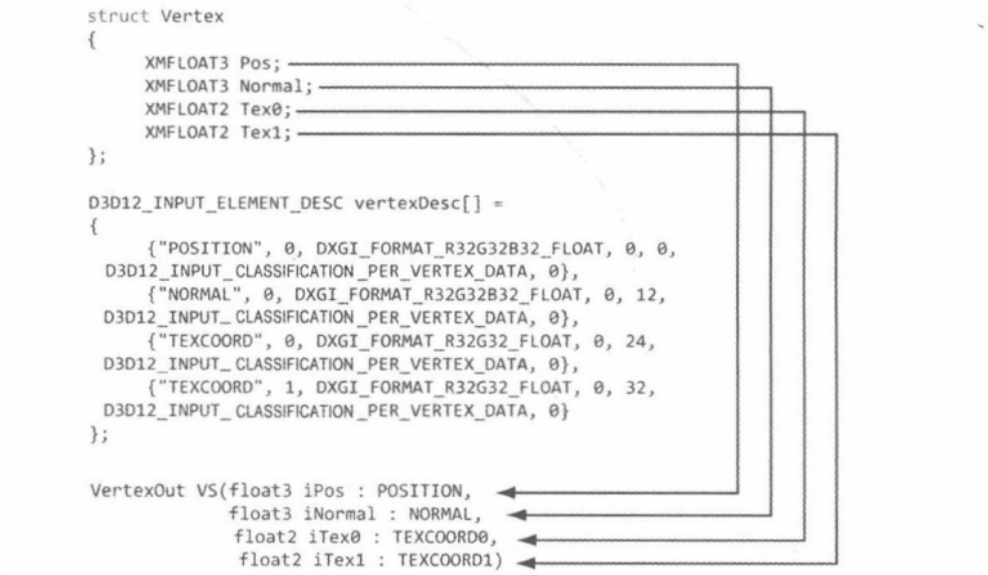
3，Format： DXGI_FORMAT 格式类型

4，InputSlot： 输入槽

5，AlignedByteOffset： 起始地址的偏移量

6，InputSlotClass： 暂定为D3D_INPUT_CLASSIFICATION_PER_VERTEX_DATA，另一个选项用于实例化

7，InstanceDataStepRate： 目前指定为0，采用实例化则为1



15. 顶点缓冲区

一般来说，顶点缓冲区都会被置于默认堆来优化性能（CPU不能向默认堆的顶点缓冲区写入数据）

为了向顶点缓冲区复制顶点数据（置于默认堆），就需要创建一个中介位置的上传缓冲区

1. **将数据复制到默认缓冲区的流程**

```
// 将数据复制到默认缓冲区资源的流程
// UpdateSubresources 辅助函数会先将数据从 CPU 端的内存中复制到位于中介位置的上传堆里接着，
// 再通过调用 ID3D12CommandList::CopySubresourceRegion 函数，把上传堆内的数据复制到
// mBuffer 中①
cmdList->ResourceBarrier(1,
  &CD3DX12_RESOURCE_BARRIER::Transition(defaultBuffer.Get(),
  D3D12_RESOURCE_STATE_COMMON,
  D3D12_RESOURCE_STATE_COPY_DEST));
UpdateSubresources<1>(cmdList,
  defaultBuffer.Get(), uploadBuffer.Get(),
  0, 0, 1, &subResourceData);
cmdList->ResourceBarrier(1,
  &CD3DX12_RESOURCE_BARRIER::Transition(defaultBuffer.Get(),
  D3D12_RESOURCE_STATE_COPY_DEST,
  D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ));

// 注意：在调用上述函数后，必须保证 uploadBuffer 依然存在，而不能对它立即进行销毁。这是因为
// 命令列表中的复制操作可能尚未执行。待调用者得知复制完成的消息后，方可释放 uploadBuffer
```

① 在正式版中，ID3D12CommandList::CopySubresourceRegion（这是预览版中的函数名）函数已细分为主要负责复制纹理的函数 CopyTextureRegion（即也可复制缓冲区资源），与负责复制缓冲区数据的函数 CopyBufferRegion，它们皆继承自 ID3D12GraphicsCommandList 接口。而且 UpdateSubresources 函数亦有修改，此函数共有 3 种实现，第一种以一块分配的内存真正地实现了将资源从上传堆复制到默认堆，而另外两种则分别先在堆或栈中分配复制过程中所需的内存，再调用第一种实现去执行实际的复制操作。最后，上传堆内的数据最终是被复制到以 CD3DX12_TEXTURE_COPY_LOCATION Dst 表示的默认堆中，而不是 mBuffer 中。

2. **顶点缓冲区描述符**，通过 D3D12_VERTEX_BUFFER_VIEW 结构体来表示，并且它并不需要创建描述符堆
3. **与输入槽绑定**，在顶点缓冲区及其对应描述符创建完成后，便可以将它与渲染流水线上的一个输入槽绑定，通过 ID3DGraphicsCommandList::IASetVertexBuffers 方法实现，此操作只是将数据绑定到输入装配器阶段，做好准备，但未进行绘制。

```
void ID3D12GraphicsCommandList::IASetVertexBuffers(
  UINT StartSlot,
  UINT NumView,
  const D3D12_VERTEX_BUFFER_VIEW *pViews);
```

1. StartSlot：在绑定多个顶点缓冲区时，所用的起始输入槽（若仅有一个顶点缓冲区，则将其绑定至此槽）。输入槽共有 16 个，索引为 0～15。
2. NumViews：将要与输入槽绑定的顶点缓冲区数量（即视图数组 pViews 中视图的数量）。如果起始输入槽 StartSlot 的索引值为 k，且我们要绑定 n 个顶点缓冲区，那么这些缓冲区将依次与输入槽 $I_k, I_{k+1}, \cdots, I_{k+n-1}$ 相绑定。
3. pViews：指向顶点缓冲区视图数组中第一个元素的指针。

下面是该函数的一个调用示例。

```
D3D12_VERTEX_BUFFER_VIEW vbv;
vbv.BufferLocation = VertexBufferGPU->GetGPUVirtualAddress();
vbv.StrideInBytes = sizeof(Vertex);
vbv.SizeInBytes = 8 * sizeof(Vertex);

D3D12_VERTEX_BUFFER_VIEW vertexBuffers[1] = { vbv };
mCommandList->IASetVertexBuffers(0, 1, vertexBuffers);
```

4. 顶点缓冲区资源的虚拟地址，可以通过 ID3D12Resource::GetGPUVirtualAddress 来获取
5. 以上仅为顶点数据送至渲染流水线做好准备，最后还需要通过 ID3D12GraphicsCommandList::DrawInstanced 方法真正绘制顶点
6. ID3D12GraphicsCommandList::DrawInstanced 的参数对全局顶点缓冲区和全局索引缓冲区的应用（顶点缓冲区和索引缓冲区分别合并），当应用中有一可以轻易合并的零散顶点缓冲区和索引缓冲区时，便值得一试。

16. 索引缓冲区

与顶点缓冲区相似

1. 索引缓冲区描述符由 D3D12_INDEX_BUFFER_VIEW 来表示

2. 通过 `ID3D12GraphicsCommandList::IASetIndexBuffer` 方法将索引缓冲区绑定到输入装配器阶段，做好准备，但未进行绘制。
3. 最后不同的是，需要通过 `ID3D12GraphicsCommandList::DrawIndexedInstanced` 代替 `DrawInstanced` 进行绘制