

glTF - 是什么?

一份关于glTF格式(GL传输格式)基础的概述



glTF 由Khronos Group 设计和规范,旨在提高3D内容在网络中的传输效率。

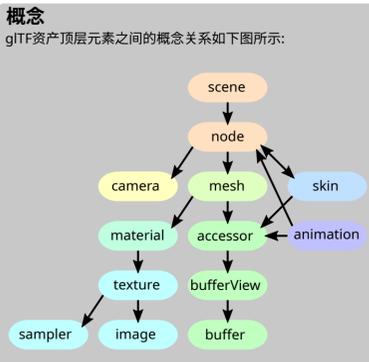
glTF的核心是一个JSON文件,该文件描述了包含3D模型的场景(scene)的结构和组成。文件顶层元素有:

- scenes, nodes**
场景(scene)的基本结构
- cameras**
场景(scene)的视角配置
- meshes**
3D物体的几何体
- buffers, bufferViews, accessors**
数据引用和数据布局的描述
- materials**
定义物体应该怎样被渲染
- textures, images, samplers**
物体的外观
- skins**
顶点蒙皮的信息
- animations**
属性随时间的改变

这些元素包含在数组中,使用索引可以查询对象,并以此建立起对象间的引用关系。

也可以将整个资产文件存储在单一的二进制glTF文件中,此时json数据以字符串的形式存储,随后是缓冲(buffers)或图片(images)的二进制数据。

更多资源
Khronos glTF 登陆页地址: <https://www.khronos.org/glTF>
Khronos glTF GitHub 仓库: <https://github.com/KhronosGroup/glTF>



二进制数据引用
glTF资产的图片(images)跟缓冲(buffers)可以引用外部文件,这些外部文件包含渲染3D内容的数据:

```

"buffers": [
  {
    "uri": "buffer01.bin"
    "byteLength": 102040,
  },
  {
    "uri": "image01.png"
  },
]
  
```

buffers 引用了包含几何或动画数据的二进制文件(.BIN)

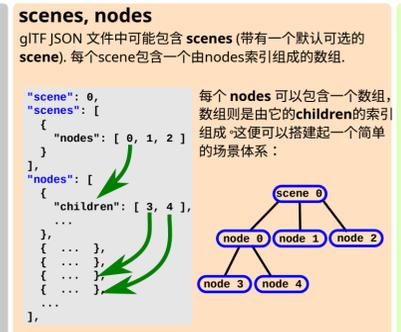
images 引用了包含模型纹理数据的图片文件(PNG, JPG...)

数据虽然是通过URI引用,但JSON也可以通过使用数据URI直接包含数据。数据URI定义了MIME类型,以base64编码字符串的形式包含数据:

```

Buffer data:
"data:application/glTF-buffer;base64,AAABAAIAAgA..."

Image data (PNG):
"data:image/png;base64,1VBORw0K..."
  
```



node可包含一个局部变换,这个变换可以用一个列主序矩阵表示,或者用平移,旋转和缩放属性分别表示,其中旋转使用四元数形式。局部变换矩阵可通过以下计算:

```

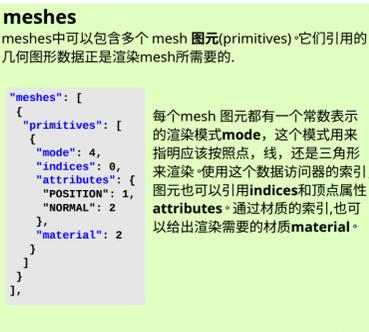
"nodes": [
  {
    "matrix": [
      [ 1, 0, 0, 0,
        0, 1, 0, 0,
        0, 0, 1, 0,
        5, 6, 7, 1 ],
      ...
    ],
    "translation": [ 1, 2, 1 ],
    "rotation": [ 1, 1, 1 ],
    "scale": [ 2, 1, 1 ],
  },
]
  
```

其中T, R和S分别为平移,旋转和缩放矩阵。从根node到相应node路径上的所有局部变换相乘,便得到了这个节点的全局变换。

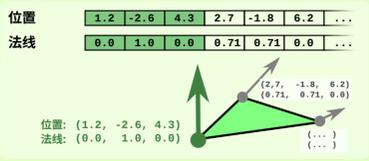
node可以使用指向meshes和cameras数组的索引来引用一个mesh或camera。引用后则这些元素会附加到这些节点上。在渲染过程中,这些元素的实例会被创建出来并使用节点的全局变换进行转换。

node的平移,旋转和缩放特性也可以用于动画,因为动画本身就是描述某个特性如何随时间变化的。这样附属的对象也会相应地移动,从而允许对移动的物体或移动的摄像机进行建模。

node也可用于顶点蒙皮:node的层次结构可以定义动画角色的骨架,node引用mesh和skin,skin中包含了mesh如何基于当前的骨架姿态进行变形的进一步的信息。



每个属性通过将属性名称映射到包含该属性数据的访问器(accessor)的索引来定义,这些数据将在渲染位置时用作顶点属性。例如,这些属性可能会定义顶点的位置(POSITION)和法线(NORMAL)



一个网格(mesh)可以定义多个形变目标(morph targets)。形变目标描述的是原始网格的变形。

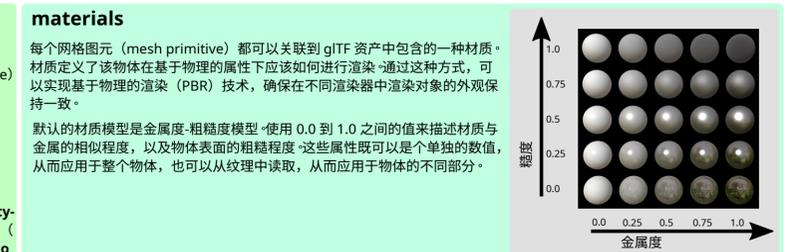
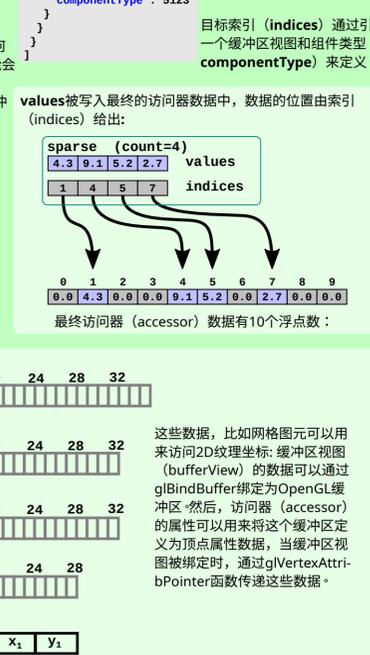
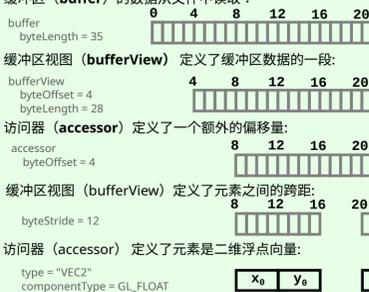
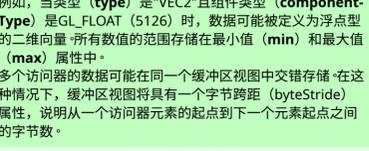
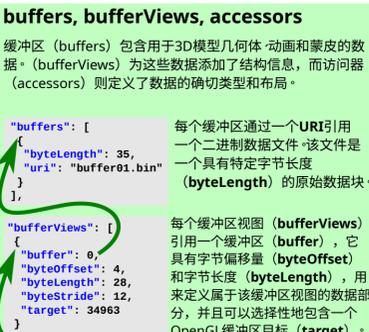
```

{
  "primitives": [
    ...
    {
      "targets": [
        {
          "POSITION": 11,
          "NORMAL": 13
        },
        {
          "POSITION": 21,
          "NORMAL": 23
        }
      ]
    }
  ],
  "weights": [ 0, 0.5 ]
}
  
```

为了定义具有形变目标的网格,每个网格图元(mesh primitive)可以包含一个形变目标数组。这些数组是字典形式,将属性的名称映射到访问器(accessors)的索引,这些访问器包含目标形变对应的几何位移数据。

mesh也可以包含一个权重数组,其中权重表示每个形变目标对网格最终渲染状态的贡献。

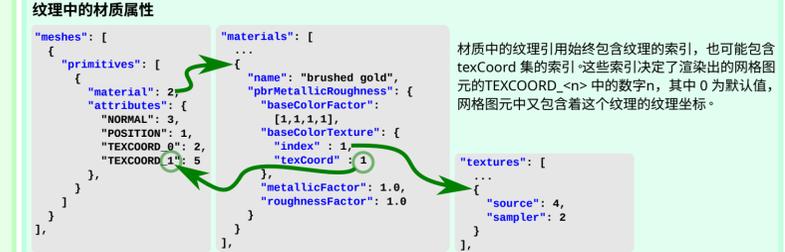
通过对不同形变目标应用不同的权重组合,可以实现多种效果,例如建模一个角色的不同面部表情:这些权重可以通过动画进行修改,以在几何体的不同状态之间进行插值。



可以在金属度-粗糙度模型(Metallic-Roughness-Model)中定义材质,他们的属性汇总在pbrMetallicRoughness中:

```

"materials": [
  {
    "pbrMetallicRoughness": {
      "baseColorTexture": {
        "index": 1,
        "texCoord": 1
      },
      "baseColorFactor": [ 1.0, 0.75, 0.35, 1.0 ],
      "metallicRoughnessTexture": {
        "index": 5,
        "texCoord": 1
      },
      "metallicFactor": 1.0,
      "roughnessFactor": 0.0,
    },
    "normalTexture": {
      "scale": 0.8,
      "index": 2,
      "texCoord": 1
    },
    "occlusionTexture": {
      "strength": 0.9,
      "index": 4,
      "texCoord": 1
    },
    "emissiveTexture": {
      "index": 3,
      "texCoord": 1
    },
    "emissiveFactor": [ 0.4, 0.8, 0.6 ]
  },
]
  
```



cameras
glTF资产中定义了摄像机(cameras),每个节点可以引用其中一个。

```

"cameras": [
  {
    "type": "perspective",
    "perspective": {
      "aspectRatio": 1.5,
      "yfov": 0.65,
      "zfar": 100,
      "znear": 0.01
    },
  },
  {
    "type": "orthographic",
    "orthographic": {
      "xmag": 1.0,
      "ymag": 1.0,
      "zfar": 100,
      "znear": 0.01
    }
  }
]
  
```

摄像机有两种类型:透视型(perspective)以及正交型(orthographic),他们定义了投影矩阵。

透视摄像机的远裁剪平面距离zfar,是可选的。当省略该值时,摄像机将使用一个用于无限远投影的特殊投影矩阵。

当某个节点引用摄像机时,将创建该摄像机的一个实例。此实例的摄像机矩阵由该节点的全局变换矩阵决定。

textures, images, samplers
纹理(textures)包含了可以用来渲染物体的纹理信息:材质通过引用纹理来定义物体的基本颜色,以及影响物体外观的物理属性。

```

"textures": [
  {
    "source": 4,
    "sampler": 2
  },
  ...
]

"images": [
  {
    "uri": "file01.png"
  },
  {
    "bufferView": 3,
    "mimeType": "image/jpeg"
  },
]

"samplers": [
  {
    "magFilter": 9729,
    "minFilter": 9987,
    "wrapS": 10497,
    "wrapT": 10497
  },
]
  
```

纹理由两个部分组成:一个是对纹理源(source)的引用,即资产中的某个图像(images),另一个是对采样器(sampler)的引用。

图像(images)定义了纹理所使用的图像数据。这些数据可以通过URI(即图像文件的位置)提供,或者通过对bufferView以及一个mimeType来提供,其中mimeType定义了存储在bufferView中图像数据的类型。

采样器(samplers)描述了纹理的包裹模式和缩放方式。(这些常量值对应于OpenGL的常量,能够直接传递给glTexParameter)。

skins
glTF资产可以包含进行顶点蒙皮所需的信息。通过顶点蒙皮,可以基于当前姿态,根据骨架的骨骼来影响网格的顶点。

```

"nodes": [
  {
    "name": "Skinned mesh node",
    "mesh": 0,
    "skin": 0,
  },
  {
    "name": "Torso",
    "children": [ 2, 3, 4, 5, 6 ],
    "rotation": [ ... ],
    "scale": [ ... ],
    "translation": [ ... ],
  },
  {
    "name": "LegL",
    "children": [ 7 ],
  },
  {
    "name": "FootL",
  },
]
  
```

一个节点可以引用网格(mesh),也可以引用蒙皮(skin)。

蒙皮包含一个关节数组joints以及一个inverseBindMatrices,其中joints数组内是定义骨架层次结构的节点的索引,inverseBindMatrices则引用了包含每个关节对应矩阵的访问器(accessor)。

和场景结构类似,骨架层次结构也使用节点建模:每个关节节点可以有一个局部变换和一个节点数组,骨架的骨骼通过关节之间的连接隐式地给出。



JOINTS_0 属性数据包含应该影响顶点的关节的索引

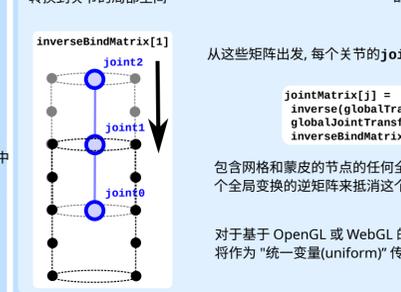
WEIGHTS_0 属性数据定义了关节对顶点影响的权重

根据这些信息可以计算蒙皮矩阵。

这些内容在“计算蒙皮矩阵”一节中有详细说明。

计算蒙皮矩阵
蒙皮矩阵描述了基于当前的骨架姿态网格顶点如何变换。蒙皮矩阵是对关节矩阵的加权结合。

计算关节矩阵
蒙皮引用了inverseBindMatrices,这是一个访问器,包含每个关节对应的一个逆绑定矩阵。每个矩阵都会把网格转换到关节的局部空间。



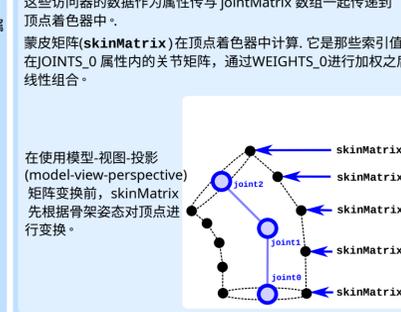
结合关节矩阵来创建蒙皮矩阵
蒙皮网格的图元包含 POSITION JOINT 和 WEIGHT 属性,他们都引用了访问器,对于每个顶点,这些访问器都包含这样一个元素:

```

POSITION JOINTS_0 WEIGHTS_0
[ P_x P_y P_z P_w ] [ J_0 J_1 J_2 J_3 ] [ W_0 W_1 W_2 W_3 ]
  
```

这些访问器的数据作为属性传与 jointMatrix 数组一起传递到顶点着色器中。

蒙皮矩阵(skinMatrix)在顶点着色器中计算。它是那些索引值包含在JOINTS_0属性内的关节矩阵,通过WEIGHTS_0进行加权之后的线性组合。



Vertex Shader
uniform mat4 u_jointMatrix[12];
attribute vec4 a_position;
attribute vec4 a_joint;
attribute vec4 a_weight;

```

void main(void) {
  ...
  mat4 skinMatrix = a_weight.x * u_jointMatrix[int(a_joint.x)] + a_weight.y * u_jointMatrix[int(a_joint.y)] + a_weight.z * u_jointMatrix[int(a_joint.z)] + a_weight.w * u_jointMatrix[int(a_joint.w)];
  gl_Position = modelViewProjection * skinMatrix * position;
}
  
```



Wiki page about skinning in COLLADA: <https://www.khronos.org/collada/wiki/Skinning>
Section 4-7 in the COLLADA specification: https://www.khronos.org/files/collada_spec_1_5.pdf
(The vertex skinning in COLLADA is similar to that in glTF)

animations
glTF资产可以包含动画。动画可以应用于节点的属性,这些属性定义了节点的局部变换,或者应用于形变目标的权重。

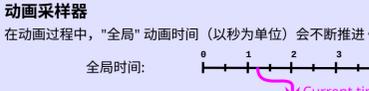
```

"animations": [
  {
    "channels": [
      {
        "target": {
          "node": 1,
          "path": "translation"
        },
        "sampler": 0
      },
      ...
    ],
    "samplers": [
      {
        "input": 4,
        "interpolation": "LINEAR",
        "output": 5
      }
    ]
  }
]
  
```

每个动画由两个元素组成:一个通道数组和一个采样器数组。

每个通道定义了动画的目标。这个目标通常引用一个使用索引的node以及作为动画特性名称的path。path可以是“平移(translation)”,“旋转(rotation)”或“缩放(scale)”,影响节点的局部变换,或者是“weights”,用来动画化被节点引用的网格的形变目标的权重,通道还引用了一个采样器,该采样器总结了实际的动画数据。

采样器引用了输入和输出数据,使用访问器(accessors)的索引来提供数据。输入引用了一个包含标量浮点值的访问器,这些值是动画关键帧的时间。输出引用了一个包含了各自关键帧动画属性数值的采样器。采样器还定义了动画的插值模式,可以是“线性(LINEAR)插值”,“阶跃(STEP)插值”,或者“三次样条(CUBIC SPLINE)插值”。



Extensions
glTF格式允许通过扩展来添加新功能,或简化常用属性的定义。

```

"extensionsUsed": [
  "KHR_lights_common",
  "CUSTOM_EXTENSION"
]

"extensionsRequired": [
  "KHR_lights_common"
]

"textures": [
  {
    "extensions": {
      "extensionsUsed": {
        "KHR_lights_common": {
          "lightSource": true,
          "CUSTOM_EXTENSION": {
            "CUSTOM_PROPERTY": {
              "customValue"
            }
          }
        }
      }
    }
  }
]
  
```

当在glTF资产中使用扩展时,必须在顶层的extensionsUsed属性中列出。extensionsRequired属性则列出了严格要求以正确加载资产的扩展。

存在的扩展
有若干扩展在Khronos的GitHub仓库中开发和维护。完整的扩展列表可以在<https://github.com/KhronosGroup/glTF/tree/main/extensions/2.0>找到。以下是Khronos Group认证的官方扩展:

- KHR_draco_mesh_compression: glTF几何体可以使用Draco库进行压缩。
- KHR_lights_punctual: 添加点光源、聚光灯和方向光的支持。
- KHR_materials_clearcoat: 允许为现有的glTF PBR材质添加透明涂层。
- KHR_materials_ior: 透明材料可以通过折射率进行扩展。
- KHR_materials_iridescence: 模拟薄膜效应,其中颜色随观察角度变化。
- KHR_materials_sheen: 为由布料纤维引起的背向散射添加颜色参数。
- KHR_materials_specular: 允许定义镜面反射的强度和颜色。
- KHR_materials_transmission: 更现实地模拟反射、折射和透明度。
- KHR_materials_unlit: 允许定义不属于基于物理渲染的材质。
- KHR_materials_variants: 同一几何体上支持多种材质,可在运行时选择。
- KHR_materials_volume: 详细建模材料对象的厚度和衰减。
- KHR_mesh_quantization: 使用较小的数据类型更紧凑地表示顶点属性。
- KHR_mesh_basisu: 支持使用Basis Universal超压缩的KTX v2图像。
- KHR_texture_transform: 支持纹理的偏移、旋转和缩放,用于创建纹理集。
- KHR_xmp_json_ld: 为场景、节点、网格和其他glTF对象添加XMP元数据支持。