4.4 顶点混合 2020年12月23日16点40分

想象一下，数字角色的手臂是由两个部分（前臂和上臂）组成的动画，如图Figure 4.11的左侧所示。 该模型可以使用刚体变换进行动画处理（第4.1.6节）。 但是，这两个部分之间的关节将不会像真正的肘部。 这是因为使用了两个单独的对象，因此，关节由来自这两个单独的对象的重叠部分组成。 显然，最好只使用一个对象。 但是，静态模型零件无法解决使关节具有柔性的问题.

顶点混合是解决该问题的一种流行方法[1037,1903].该技术还有其他几个名称,例如线性混合蒙皮,包络或骨架子空间变形.虽然此处介绍的算法的确切来源尚不清楚,但定义骨骼并让皮肤对变化做出反应是计算机动画中的一个古老概念[1100].在最简单的形式中,前臂和上臂像以前一样分别进行动画处理,但是在关节处,两个部分通过有弹性的“皮肤”相连.因此,该弹性部件将具有一组由前臂矩阵转换的顶点和另一组由上臂矩阵转换的顶点.与每个三角形使用单个矩阵相比,这会导致三角形的顶点可以通过不同的矩阵进行变换.参见Figurere 4.11.

通过进一步执行这一步骤，可以使单个顶点可以通过几种不同的矩阵进行变换，并将得到的位置加权并混合在一起。 这是通过为动画对象设置骨骼骨骼来完成的，其中，每个骨骼的变换可能会通过用户定义的权重影响每个顶点。 由于整个手臂可能是“弹性的”，即，所有顶点都可能受到一个以上矩阵的影响，因此整个网格通常被称为皮肤（在骨骼上）。 参见Figurere 4.12。 许多商业建模系统具有相同的骨架骨骼建模功能。 尽管名称如此，骨骼并不一定必须是刚性的。 例如，Mohr和Gleicher [1230]提出了添加附加关节以实现诸如肌肉隆起等效果的想法。 James和Twigg[813]讨论了使用可以挤压和拉伸的骨骼的动画蒙皮。

在数学上,这用公式4.59表示,其中是原始顶点,而是变换后的顶点,其位置取决于时间:

有个骨骼影响的位置,以世界坐标表示.值骨骼对顶点的权重.矩阵从初始骨骼的坐标系转换为世界坐标.通常,骨骼的控制关节位于其坐标系的原点.例如,前臂骨骼将其肘关节移动到原点,而动画旋转矩阵将手臂的这一部分绕关节移动.矩阵是第个骨骼的世界变换,该变换会随时间变化以对物体进行动画处理,并且通常是多个矩阵的串联,例如以前的骨骼变换的层次结构和局部动画矩阵.

Woodland [**1903**]深入讨论了一种维护和更新矩阵动画函数的方法.每个骨骼都将一个顶点转换到相对于其自身参照系的位置,并从一组计算点中插值最终位置.矩阵在某些蒙皮讨论中未明确显示,而是被视为的一部分.我们在这里介绍它是因为它是有用的矩阵,几乎总是矩阵级联过程的一部分.

在实践中，对于动画的每一帧，为每个骨骼连接矩阵Bi（t）和M-1，并且每个结果矩阵都用于变换顶点。 顶点p由不同骨骼的级联矩阵转换，然后使用权重wi进行混合，因此称为顶点混合。 权重是非负的，并且总和为1，因此发生的事情是将顶点转换到几个位置，然后在其中进行插值。 这样，对于所有i = 0，变换后的点u将位于点集Bi（t）M-1 i 1p的凸包中。 。 。 n-1（固定t）。 通常也可以使用公式4.59转换法线。 取决于所使用的变换（例如，如果一根骨头被拉伸或挤压了很多），可能需要对Bi（t）M-1的逆进行转置，如第4.1.7节中所述。

顶点混合非常适合在GPU上使用。 网格中的顶点集可以放置在静态缓冲区中，该缓冲区一次发送到GPU并重新使用。 在每个帧中，只有骨骼矩阵会发生变化，而顶点着色器会计算它们对存储的网格的影响。 这样，可以最大程度地减少在CPU上处理和从CPU传输的数据量，从而使GPU可以有效地渲染网格。 如果可以将模型的整个骨矩阵一起使用，则是最简单的。 否则，必须拆分模型并复制一些骨骼。 或者，可以将骨骼变换存储在顶点访问的纹理中，从而避免达到寄存器存储限制。 通过使用四元数表示旋转，每个变换可以仅存储在两个纹理中[1639]。 如果可用，无序访问视图存储将允许重新使用换肤结果[146]。

可以指定超出[0,1]范围或不等于1的权重集.但是,这仅在使用其他一些混合算法(例如顶点变形目标)(第4.5节)时才有意义。

基本顶点融合的一个缺点是可能会发生不必要的折叠，扭曲和自相交[1037]。参见Figurere 4.13。更好的解决方案是使用双四元数[872，873]。这种执行蒙皮的技术有助于保持原始变换的刚性，因此避免了四肢的“糖果包裹”扭曲。计算小于线性皮肤混合的成本的1.5倍，并且效果很好，这导致该技术的快速采用。但是，双四元数蒙皮会导致鼓起效果，Le和Hodgins [1001]提出了旋转中心蒙皮作为更好的选择。他们基于这样的假设：局部变换应该是刚体，并且具有相似权重wi的顶点应该具有相似变换。预先为每个顶点计算旋转中心，同时施加正交（刚体）约束以防止肘关节塌陷和糖果包装纸扭曲伪像。在运行时，该算法类似于线性混合蒙皮，因为GPU实施在旋转中心执行线性混合蒙皮，随后执行四元数混合步骤。

4.5 Morphing 2020年12月23日17点45分

在执行动画时，从一个三维模型变形到另一个三维模型可能会很有用[28、883、1000、1005]。 假设一个模型在时间t0显示，我们希望它在时间t1变成另一种模型。 对于介于t0和t1之间的所有时间，都使用某种插值获得了连续的“混合”模型。 变形的一个例子如图4.14所示。

变形涉及解决两个主要问题，即顶点对应问题和插值问题。 给定两个任意模型，这些模型可能具有不同的拓扑，不同的顶点数量和不同的网格连接性，通常必须从建立这些顶点对应关系开始。 这是一个困难的问题，并且在该领域已经进行了很多研究。 我们推荐感兴趣的读者阅读Alexa的调查[28]。

但是，如果两个模型之间已经存在一对一的顶点对应关系，则可以在每个顶点的基础上进行插值。 也就是说，对于第一个模型中的每个顶点，在第二个模型中必须仅存在一个顶点，反之亦然。 这使插值变得容易。 例如，线性插值可以直接在顶点上使用（有关插值的其他方式，请参见第17.1节）。 为了计算时间t∈[t0，t1]的变形顶点，我们首先计算s =（t-t0）/（t1- t0），然后线性顶点混合，

其中p0和p1对应于相同的顶点，但在不同的时间t0和t1.

用户具有更直观控制的变形变体称为变形目标或混合形状[907].基本思想可以使用Figurere 4.15进行解释.

我们从一个中性模型开始，在这种情况下，它是一张脸。 让我们用N表示该模型。 此外，我们还有一组不同的脸部姿势。 在示例示例中，只有一个姿势，即一张笑脸。 通常，我们可以允许k≥1个不同的姿势，表示为Pi，i∈[1，。 。 。 ，k]。 作为预处理，“差异面”的计算公式为：Di = Pi-N，即，从每个姿势中减去中性模型。

此时，我们有一个中立模型N和一组差分姿势Di。 然后可以使用以下公式获得变形模型M：

这是中性模型，最重要的是，我们使用权重wi添加所需的不同姿势的特征。 对于Figurere 4.15，将w1设置为1可使我们恰好位于插图中间。 使用w1 = 0.5给我们一个半张微笑的脸，依此类推。 一个人也可以使用负权重，也可以使用大于一的权重。

对于这个简单的脸部模型，我们可以添加另一个具有“悲伤”眉毛的脸部。 负重的眉毛会产生“快乐”的眉毛。 由于位移是相加的，因此该眉毛姿势可与笑脸姿势配合使用。

变形目标是一种强大的技术，可为动画师提供很多控制，因为模型的不同特征可以独立于其他特征进行操纵。 Lewis等人[1037]引入了姿势空间变形，该变形结合了顶点融合和顶点变形目标。 Senior [1608]使用预先计算的顶点纹理来存储和检索目标姿势之间的位移。 支持流输出的硬件和每个顶点的ID允许在单个模型中使用更多目标，并且可以在GPU上专门计算效果[841，1074]。 使用低分辨率网格，然后通过细分阶段和位移映射生成高分辨率网格，可以避免在高度详细的模型中为每个顶点蒙皮的成本[1971]。

图4.16显示了同时使用蒙皮和变形的真实示例. Weronko和Anderson [1872]在《教团：1886》中使用了蒙皮和变形.