

大连民族学院本科毕业设计(论文)

舞蹈运动数据无缝连接系统开发

学院(系): _____

专 业: _____

学 生 姓 名: _____

学 号: _____

指 导 教 师: _____

评 阅 教 师: _____

完 成 日 期: _____

大连民族学院

摘 要

少数民族舞蹈是“非语言文字文化”的重要组成部分，相较于表演舞蹈（交际舞、踢踏舞等），民族舞蹈更具文化内涵。随着非物质文化遗产保护的加强，《中华民族民间舞蹈集成》等文字、录像形式的文化保护已经做了很多工作，但是文字形式的记录并不能达到三维的可视化，录像形式的记录则存储了人物所在的场景等冗余的信息，存储成本高而且无法交互。采用运动捕获技术以骨骼动画的形式记录少数民族舞蹈，能够实现舞蹈的多角度可视化，互动性更强，数据能够无限次重用。本文对运用运动捕获技术记录少数民族舞蹈进行了具体实践，能够实现舞蹈数据的多角度可视化。

随着捕获的运动数据越来越多，数据的存储成本会上升，检索效率会下降，为了解决这些问题需要压缩数据。本文根据舞蹈数据的特点，设计了双层的四元数插值算法，从时间序上将压缩比提高到 4:1，对插值后的数据采用量化的方式压缩，进而将压缩比提高到 8:1。

本文在利用舞蹈运动数据进行舞蹈编排、创作方面进行了有意义的探索，尝试直接在舞蹈片段间插值，但滑步问题严重。在运动数据库中搜索过渡片段，在过渡片段的基础上插值比直接插值的效果要好，能够对两段舞蹈片段进行较平滑的连接。本文在构造舞蹈运动的运动图方面提出了按照人体支撑点来进行动作划分的方法。

关键词：民族舞蹈；运动捕获；数据压缩；舞蹈连接

Development of Human Dance Motions Seamless Synthesis System

Abstract

Folk dance is an important part of the "non-language and non-literal culture", which compared with performing dance (ballroom dancing, tap dance, etc.), folk dance has more cultural connotation. With the strengthening of the protection of intangible cultural heritage, like "The Chinese Folk Dances", text and video forms of cultural protection has done a lot of work. But this kind of records can't achieve the three-dimensional visualization, and video record has to keep redundant information like acting environment. With motion capture technology, we can record folk dances in the skeletal animation form, then we can achieve multi-angle visualization and more interactivity. And the data can be used in anywhere and any number of times. In this paper, the motion capture technique was used to record the folk dance in author's practice. And a Motion Player was developed for visualizing.

With the motion data increasing, the data storage costs will rise, and the retrieval efficiency will decrease, we need to compress the data in order to solve these problems. According to the characteristics of the motion, we come up with a two-level quaternion interpolation algorithm, which improved the compression ratio to 4:1 in temporal. Then we quantized the remaining floating-points, and the compression ratio increased to 8: 1.

Motion capture data is typically used in film industry, television, animation, video games and other cultural and entertainment industries. This paper has done some meaningful exploration in data-based choreography. A motion segment can transition to another one smoothly.

Key Words: Folk Dance; Motion Capture; Data Compression; Motion Synthesis

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
1 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 本文工作.....	1
2 基于运动捕捉技术的民族舞蹈数据采集.....	2
2.1 运用运动捕捉技术记录民族舞蹈的意义.....	2
2.2 舞蹈运动数据采集实践.....	2
3 舞蹈数据的压缩.....	4
3.1 数据压缩的意义.....	4
3.2 舞蹈数据的表示.....	4
3.3 四元数的压缩.....	6
3.4 逆向运动学矫正.....	7
3.5 三维向量的压缩.....	8
3.5.1 三维向量插值.....	8
3.5.2 主成分分析.....	9
3.5.3 浮点数量化.....	9
4 舞蹈数据的可视化.....	10
4.1 计算三维世界坐标点.....	10
4.1.1 旋转数据的预处理.....	10
4.1.2 构造当前节点的平移矩阵.....	10
4.1.3 构造当前节点的旋转矩阵.....	11
4.1.4 计算当前节点的三维世界坐标.....	11
4.2 舞蹈运动的绘制.....	12
4.2.1 Motion Player.....	12
5 舞蹈运动数据的无缝连接.....	14
5.1 运动融合.....	14
5.2 运动合成.....	15
结 论.....	19
参 考 文 献.....	20

1 绪论

1.1 研究背景

运动捕获技术在 20 世纪 70 年代就已经出现^[1]，但是在很多年的时间里由于成本高等原因并没有得到大范围应用，直到 21 世纪随着计算机性能的提高，计算机动画技术、3D 游戏越来越成熟，运动捕获设备成本降低，运动捕获技术开始广泛地应用在动画、3D 游戏、仿真、电影制作等领域中。随着运动捕获技术的成熟，一些高校开始探索应用运动捕获技术来记录少数民族舞蹈，以保护璀璨而又脆弱的少数民族文化。传统的少数民族舞蹈记录方式有其固有的缺陷，比如文字形式的记录，没有视频那么形象，模仿起来比较困难；视频录像形式的记录虽然有一定程度的可视化，但是不能切换使用者的观察视角，看到的仍然只是一个平面，而且视频中保存了人物所在的场景等冗余的信息，使得视频占用的空间相对较高，存储成本会上升的很快。因此，运用运动捕获技术以骨骼动画的形式记录少数民族舞蹈是值得探索的。

随着捕获的数据越来越多，会面临存储成本上升，检索效率下降等问题，而且在实际应用当中，如由腾讯公司发行的 QQ 炫舞游戏^[2]，游戏中的舞蹈数据并不需要非常高的精度，但在网络传输中，在保证一定数据精度的同时需要传输的舞蹈数据量越少越好，此时，对舞蹈数据进行压缩是必要的。

舞蹈数据是最为复杂的人体运动，本文尝试将其应用在舞蹈编排中。舞蹈编排工作通常是由功底深厚的艺术家担任，这对于人的要求较高，而且耗费时间长、成本高。如果利用计算机动画技术将捕获到的运动数据进行连接，则代替了艺术家编排舞蹈的过程。先经过计算机进行简单的连接处理，然后由艺术家评判、加工，这种舞蹈编排方式能够快速地将各种风格的舞蹈连接在一起，缩短了创作时间，降低了创作成本。有了计算机的帮助，使得这项工作不再仅仅由艺术家担任，有一定舞蹈鉴赏能力的人都可参与到舞蹈编排中。

1.2 本文工作

(1) 操作大连民族学院计算机科学与工程学院动作捕捉实验室的光学运动捕获系统，采集了一段民族舞蹈运动，对采集过程中的遇到的问题进行总结。

(2) 开发一款基于 OpenGL 和 Qt 的动作播放器，能够播放 ASE、BVH、TRC 等文件，能够同时播放两个对象，可以平移、缩放选中的对象，功能实用，界面美观。

(3) 压缩 ASE 文件中的浮点数，尽可能提高压缩比。

(4) 连接两段舞蹈运动片段，尝试不同的连接算法，找到最有效的舞蹈运动连接算法。

2 基于运动捕捉技术的民族舞蹈数据采集

2.1 运用运动捕获技术记录民族舞蹈的意义

少数民族舞蹈具有非常重要的文化意义，《中华民族民间舞蹈集成》详细地记录了中国各民族的民间舞蹈精华，但文字、图片、视频等记录方式存在两个突出缺点：不能实现以多视角、可交互、立体动态的舞蹈艺术的展示；数据的可重用性与可编辑性差，保存的数据不能运用到动画、影视、游戏等文化娱乐作品中^[3]。而运用运动捕捉技术得到的三维舞蹈数据能够很好地解决这些问题，不仅对民族文化的保护和传承有很大的作用，而且具有很大的商业价值。Disney 旗下的 Pixar, DreamWorks 等知名动画制作公司已经将运动捕捉技术大量地运用到了动画创作当中，而目前我国的动画电影水平还难以与其比肩，独具特色的民族文化也许是个非常好的突破口。日本的秋田县就将运动捕捉技术与日本传统歌舞伎相结合进行应用研究，并发表了实验性作品《秋的河童》^[4]。

2.2 舞蹈运动数据采集实践

运动捕获数据能够体现人体运动的细节特征，生成高逼真度的人体动画，文献[5]对运动捕获技术的发展和应作了详细的介绍。大连民族学院计算机科学与工程学院 2012 年采购了一套光学式运动捕获设备，为舞蹈数据的采集提供了极大的方便。民族高等院校是少数民族学生最集中的地方，有利于少数民族舞蹈数据采集的开展。论文作者运用光学运动捕获系统实际捕捉了一段 1000 帧左右的民族舞蹈数据，图 2.1 的右半部分是其中的一帧舞蹈动作。在实际操作的过程中发现光学捕捉系统有其固有的缺陷，尤其是对于舞蹈运动的捕获。由于光学摄像机对光线非常敏感，需要在特定的黑暗的房间内进行操作，通常要穿特殊的服装。在捕捉舞蹈运动的时候，表演者的舞蹈动作有时会将身体上的某个标记点遮住，这样该标记点就无法被捕捉到，给后期的数据处理带来非常大的麻烦，而且可能无法得到正确的运动数据。如果室内光线为控制好或者人体上的反光点未完全固定，光学捕捉的噪音点就会比较多，图 2.1 的左半部分中用圆圈标记出的点为噪音点。在电影制作当中通常使用基于运动微传感器的惯性运动捕获系统，电影《阿凡达》，《猩球崛起》等都是采用此类机械式的运动捕获系统。

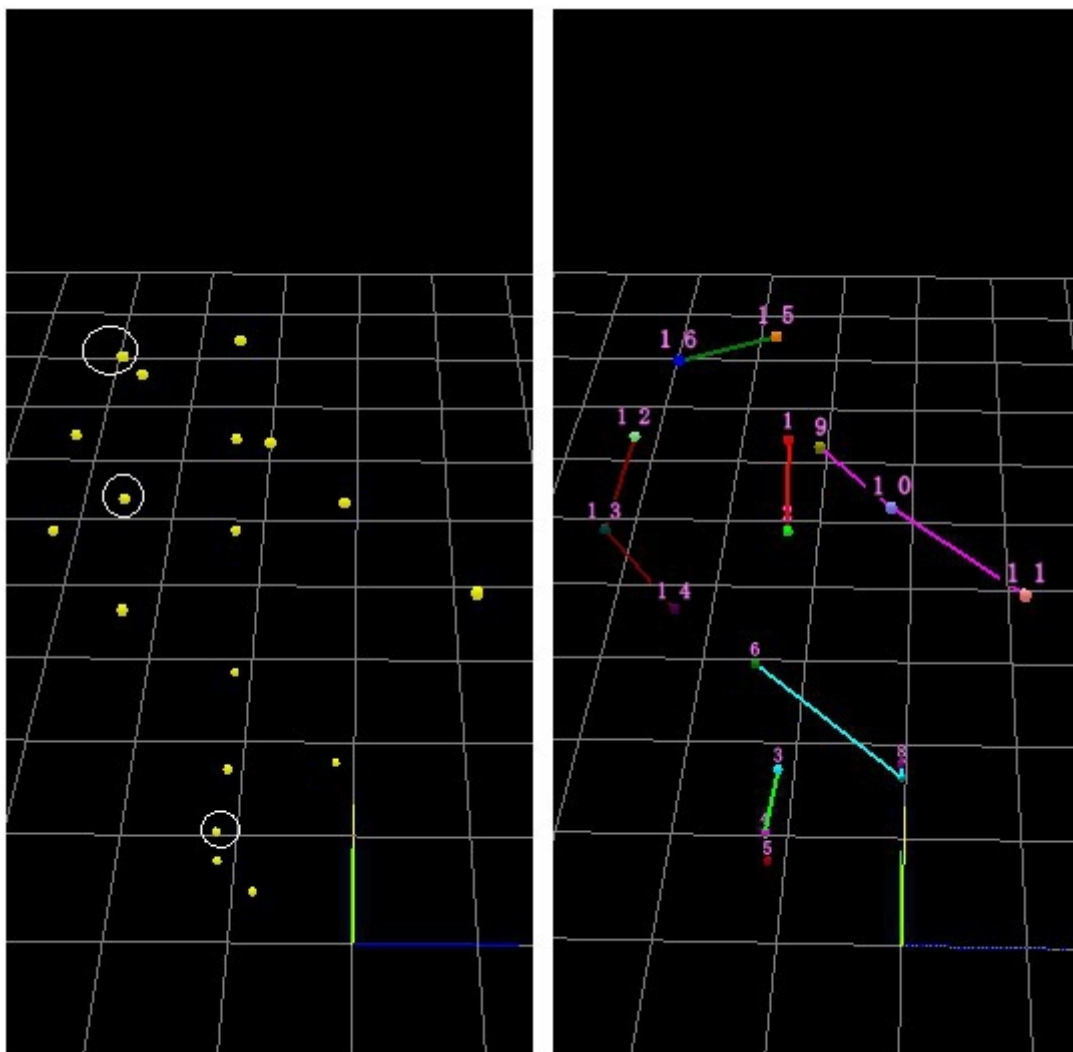


图 2.1 光学运动捕获系统捕捉到的数据

3 舞蹈数据的压缩

3.1 数据压缩的意义

简单来说，数据压缩就是用更少的信息量代表原来的信息，减小数据存储所需要的空间。数据压缩分为有损压缩和无损压缩两大类，无损压缩还原得到的信息和原信息完全一致，有损压缩还原得到的信息和原信息有一定的误差，但须保证误差在可容许的范围内。运动捕获技术已经被广泛应用在电影、动画、游戏等影视娱乐产业中，比较有代表性的有电影《阿凡达》、动画大片《功夫熊猫》、3D 游戏《使命召唤》等。随着数据采集成本的降低，我们需要尽量采集足够多的数据以便更好地进行作品创作，因此要解决海量的运动数据存储问题，以节省存储成本，提高检索效率，对运动数据进行压缩通常都是必要。由于移动互联网的发展，很多游戏开始往移动平台上移植，游戏文件的大小、网络传输的时间等也是决定游戏成败的重要因素。

3.2 舞蹈数据的表示

虚拟人动画主要分为顶点动画和骨骼动画。骨骼动画以层级结构表示(见图 3.1)，当人体姿态发生变化的时候层级结构只需要更新部分旋转数据，而顶点动画需要更新所有节点的三维坐标，所以运用运动捕获设备采集的运动数据用骨骼动画的形式表示为宜。

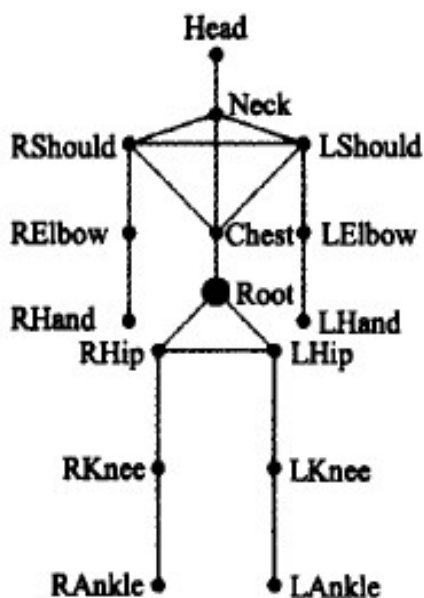


图 3.1 骨骼层级结构

常见的骨骼动画的文件存储格式是 ASE 和 BVH^[6]，它们之间的主要区别是旋转数据的表示方式，ASE 文件中的旋转数据用四元数表示，BVH 文件中则是用欧拉角表示。

在骨骼动画中，旋转数据主要有四元数、欧拉角、矩阵这三种表示方式，三者之间能够相互转换。表 3.1 从多个角度比较了矩阵、欧拉角和四元数，根据具体的需求选择不同的表示方式。本文从数据的存储空间和插值的难易度两方面考虑，采用 ASE 文件的存储格式，以四元数的形式表示旋转。

表 3.1 矩阵、欧拉角、四元数之间的比较^[7]

应用/表示形式	矩阵	欧拉角	四元数
绕坐标空间旋转点	可以	不可以	不可以
旋转量的叠加	可以，一般较四元数慢	不可以	可以，一般比矩阵快
插值	不可以	可以，但会遇到万向锁问题	可以
存储空间	需要 9 个数	需要 3 个数	需要 4 个数
唯一表示一个方位	是	不是，有无穷多个欧拉角可以表示同一个方位	只有两个四元数表示同一个方位
是否可能变得无效	是	否	是

ASE 文件格式是 3D Studio Max 的原生文件格式，主要有三部分数据：骨骼信息，旋转数据（四元数形式），平移数据（三维向量形式）。旋转数据用来表示骨骼的旋转，平移数据用来表示根节点的位置和骨骼的平移量。图 3.2 中的 CONTROL_POS_TRACK 是平移数据，CONTROL_ROT_TRACK 是旋转数据，这两部分数据是需要压缩的对象。

```

*CONTROL_POS_TRACK {
  *CONTROL_POS_SAMPLE 0  0.000000 -0.000000 1.689953
  *CONTROL_POS_SAMPLE 160 0.000155 0.000375 1.689859
  *CONTROL_POS_SAMPLE 320 0.000320 0.000774 1.689761
  *CONTROL_POS_SAMPLE 480 0.000495 0.001194 1.689659
  *CONTROL_POS_SAMPLE 640 0.000676 0.001633 1.689553
*CONTROL_ROT_TRACK {
  *CONTROL_ROT_SAMPLE 0  0.20537  0.96570  -0.15890  3.27600
  *CONTROL_ROT_QUATERNION 0  w=-0.067154 (0.204906 0.963519 -0.158543)
  *CONTROL_ROT_SAMPLE 160 -0.01116  -0.03071  -0.99947  0.00025
  *CONTROL_ROT_QUATERNION 160 w=1.000000 (-0.000001 -0.000004 -0.000123)
  *CONTROL_ROT_SAMPLE 320 0.01186  0.03444  0.99934  0.00064
  *CONTROL_ROT_QUATERNION 320 w=1.000000 (0.000004 0.000011 0.000320)
  *CONTROL_ROT_SAMPLE 480 0.02990  0.06458  0.99746  0.00002
  *CONTROL_ROT_QUATERNION 480 w=1.000000 (0.000000 0.000001 0.000012)
  *CONTROL_ROT_SAMPLE 640 0.01179  0.03536  0.99931  0.00036
  *CONTROL_ROT_QUATERNION 640 w=1.000000 (0.000002 0.000006 0.000179)

```

图 3.2 ASE 文件中的平移数据和旋转数据

3.3 四元数的压缩

在寻找复数的三维对应物的过程中，哈密顿于 1843 年发明了四元数。其定义为形如 $w + xi + yj + zk$ 的数， i, j, k 满足 $i^2 = j^2 = k^2 = -1$ ， $ij = -ji = k$ ， $jk = -kj = i$ ， $ik = -ki = -j$ ，四元数包含 w, x, y, z 四个分量，满足 $w^2 + x^2 + y^2 + z^2 = 1$ 的单位四元数可以用来表示三维空间中的旋转。四元数能够和欧拉角、轴角对、旋转矩阵相互转换，欧拉角在插值的时候会遇到万向锁的问题，旋转矩阵需要保存 9 个浮点数，占用的存储空间太多，而轴角对不利于插值，所以四元数是比较理想的旋转表示方式。四元数的压缩方法主要是插值，常用于对四元数插值的算法有 Spherical Linear Quaternion Interpolation^[8-9] 和 Spherical and Quadrangle^[10]，由于舞蹈动作比通常的人体动作要复杂得多，高次函数才能比较好地适应角速度的变化，通过实践比较 Slerp, Catmull-Rom, Squad 等不同插值算法，用 Squad 插值还原的四元数更精确。

假定数据有 n 帧，这 n 帧的四元数序列为 $q_0, q_1, q_2 \cdots q_n$ ，要在 q_i 和 q_{i+1} 之间插值需要先计算两个辅助数据 s_1, s_2 ，计算方式见公式 3.1 和公式 3.2。

$$s_i = \exp\left(-\frac{\log(q_{i+1}q_i^{-1}) + \log(q_{i-1}q_i^{-1})}{4}\right)q_i \quad (3.1)$$

$$s_{i+1} = \exp\left(-\frac{\log(q_{i+2}q_{i+1}^{-1}) + \log(q_iq_{i+1}^{-1})}{4}\right)q_{i+1} \quad (3.2)$$

有了插值算法，就可以在压缩的时候将部分数据丢掉，还原的时候用插值算法对保存的数据插值得到原来的数据。具体来说，首尾 6 帧以及下标为 4 的倍数的帧保留，解压缩的时候用保留下来的帧（图 3.3 第 1 行）插值得到下标为 2 的倍数的帧（图 3.3 第 2 行），然后用这些帧插值得到下标为奇数的帧（图 3.3 第 3 行），这样就得到了原来所有的帧，通过插值还原的帧数据和原数据有一定误差。

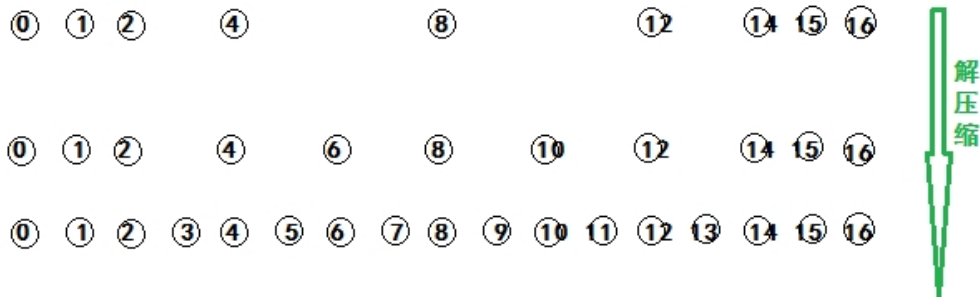


图 3.3 解压缩示意图

3.4 逆向运动学矫正

四元数插值难免会产生误差，当误差超过阈值时，与环境接触的末端节点就会出现肉眼可观察到的不自然，如滑步。可以尝试用逆向运动学来矫正误差。文献[11]介绍了 Cyclic Coordinate Descent, Jacobian Inverse, BFGS 这三种逆向运动学方法。CCD 原理简单较易实现，本文采用 CCD 的方法来矫正。CCD 矫正的原理是把有误差的末端节点作为当前点（图 3.4 中的 A 点），末端点原本所在的位置作为目标点（图 3.4 中的 B 点），与父节点 C 构成向量 \mathbf{CA} , \mathbf{CB} ，借助向量点积计算出 \mathbf{CA} , \mathbf{CB} 之间的夹角 θ ，借助向量叉积计算出垂直于 \mathbf{CA} , \mathbf{CB} 的旋转轴 \mathbf{n} ，用公式 3.3 构造出一个表示旋转量的四元数 $Quat$ 。

$$Quat[x, y, z, w] = [n.x * \sin(\theta/2), n.y * \sin(\theta/2), n.z * \sin(\theta/2), \cos(\theta/2)] \quad (3.3)$$

假设父节点 C 的旋转四元数为 Q_c ，那么新的 Q_c 可以通过公式 3.4 计算得到，重新计算末端点 A 的位置后，末端点 A 就到达了目标点 B。

$$Q_c = Quat \times Q_c \quad (3.4)$$

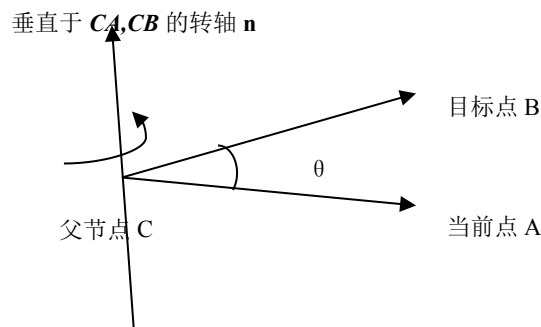


图 3.4 CCD 矫正示意图

图 3.5 是两段骨骼的可视化后的矫正过程，可以看出 CCD 是一个渐渐逼近目标点的过程。

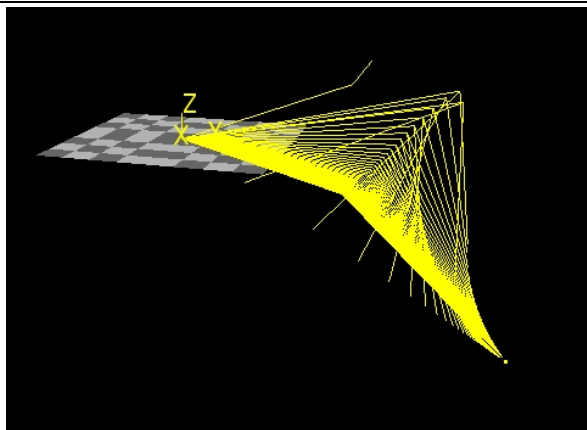


图 3.5 两段骨骼的 CCD 矫正过程

在压缩的过程中 3/4 的数据已经丢失，还原的时候无法得到所有正确的目标点，一种解决方法是计算出保留下来的帧的末端点位置，用三次样条插值对这些正确的末端点插值，得到剩余帧的末端点位置，如果三次样条插值得到的末端点比用四元数插值后计算得到的末端点更加接近正确的末端点，这种方法就是可行的。要注意的是，通常 CCD 矫正是从末端节点往根节点递归，但是这种方式虽然能使末端节点达到目标点，但非末端节点仍然会偏离原来的位置，因此自上而下，按照从根节点到末端的顺序更适合此种情况。

3.5 三维向量的压缩

三维向量在 ASE 文件里有两个含义，一个是根节点的在世界坐标系下的三维坐标点，另一个是表示骨骼的平移量，不论是作为三维空间中的坐标点还是作为骨骼的平移量，帧与帧之间都有较强的时间相关性，因此可以采用同样的方法压缩，后边不再区分。

3.5.1 三维向量插值

如果数据采集的频率足够高，每个节点的三维向量数据构成的是三维空间里一条平滑的曲线。为了将冗余的数据丢掉，压缩的时候只保留关键帧，还原的时候对关键帧用插值算法插值，得到有误差的还原后的数据，误差是可控的，插值效果见图 3.5，一条曲线是原数据，另外一条曲线是插值得到的数据。



图 3.5 三维向量插值

插值算法主要有线性插值、多项式插值，其中三次贝塞尔^[12]和三次样条^[13]比较适合舞蹈运动这类较复杂的三维曲线。

3.5.2 主成分分析

主成分分析（principle component analysis）又称主元分析，是一种分析、简化数据集的技术，经常用于减少数据集的维数，保留低阶主成分，忽略高阶主成分。节点的三维向量数据构成的是一个高维矩阵，节点数乘以 3 是其维数，通过主元分析，将高阶的主成分去掉可以达到压缩的目的。压缩的效果依赖于数据之间的相关性和文件的大小，舞蹈运动各个节点之间相关性太小，主元分析的方法并不适用。文献[14]提出用运动分割的方法将长运动分割成多段子运动，以提高相关性，然后再用 PCA 压缩，但在舞蹈运动中这种方法的压缩效果并不明显。

3.5.3 浮点数量化

四元数和三维向量都是用 32 位浮点数存储，但在某些应用场景并不需要很高的数据精度，这种情况下就可以丢掉一部分精度，将本来用 32 个比特位存储的浮点数用 16 个比特位存储，这个过程叫量化。量化只适用于绝对值小于 1 的浮点数，绝对值大于 1 的浮点数可以将整数部分和小数部分分开，只对小数部分量化。量化能够提高 1 倍的压缩比。Algorithm3.1 是量化算法的伪代码。

Algorithm3.1: floating-point quantization

Input: floating-point x

Output: unsigned short result res

1. $n = \text{static_cast}\langle\text{int}\rangle(x*32768)$
2. $n = n + 32768$
3. $res = n \& 65535$
4. **return** res

4 舞蹈数据的可视化

舞蹈数据的可视化是指将舞蹈运动的旋转数据和平移数据转换成三维空间信息，然后通过 OpenGL、DirectX 等绘制出来，这样就能很直观地多角度地观察舞蹈动作。数据的可视化往往是使用数据的第一步。

4.1 计算三维世界坐标点

保存在 ASE 文件中的是骨骼结构、旋转数据和平移数据，根据这些信息可以计算出每个关节的在世界坐标系下的三维坐标。

4.1.1 旋转数据的预处理

ASE 文件中的第 1 帧的旋转数据是相对其父节点的旋转，第 2 帧到第 n 帧的旋转数据则是相对于前一帧的旋转，所以需要将第 2 至第 n 帧的数据转换成相对于父节点的。Algorithm4.1 是数据转换的算法。

Algorithm4.1: data convert

Input: frame num $nFrameNum$, quaternions rot

Output: quaternions rot

1. **for** i less than $nFrameNum$ **do**
2. $rot[i] = rot[i-1]*rot[i]$
3. **end for**

4.1.2 构造当前节点的平移矩阵

如果当前节点有 POS_SAMPLE 数据，即平移数据，那么 POS_SAMPLE 数据即为需要的平移量，设平移数据为 x, y, z ，按照公式 4.1 来构造当前节点的平移矩阵 T_i 。

$$T_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

如果没有 POS_SAMPLE 数据，说明平移量是一直保持不变的，可以根据文件中的骨骼数据来计算平移量，公式 4.2 是它们之间的计算关系。

$$T * TM_QUATERNION_{parent} * TM_POS_{parent} = TM_POS_{child} \quad (4.2)$$

由公式 4.2 得到公式 4.3。

$$T = TM_POS_{child} * [TM_QUATERNION_{parent} * TM_POS_{parent}]^{-1} \quad (4.3)$$

公式 4.3 是左手系的，写成矩阵乘法的形式如下：

$$T_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ TM_POS[0] & TM_POS[1] & TM_POS[2] & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} TM_ROW_p[0][0] & TM_ROW_p[0][1] & TM_ROW_p[0][2] & 0 \\ TM_ROW_p[1][0] & TM_ROW_p[1][1] & TM_ROW_p[1][2] & 0 \\ TM_ROW_p[2][0] & TM_ROW_p[2][1] & TM_ROW_p[2][2] & 0 \\ TM_ROW_p[3][0] & TM_ROW_p[3][1] & TM_ROW_p[3][2] & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

TM_ROW_p 为父节点的 TM_ROW 矩阵。如果需要右手系的 T 矩阵，将其转置即可。这里要注意的是计算出来的 T 矩阵包含了旋转信息，所以需要将 T 矩阵中的旋转量置为单位旋转量，即将 T 矩阵前三行前三列置为单位矩阵。

4.1.3 构造当前节点的旋转矩阵

构造当前节点的旋转矩阵，直接将四元数转换成矩阵形式即可，如果该节点没有旋转数据，就用该节点的 $TM_QUATERNION$ 代替。设四元数的分量为 x, y, z, w ，构造出的旋转矩阵 R_i 见公式 4.4：

$$R_i = \begin{bmatrix} 1 - (2y^2 + 2z^2) & 2xy - 2wz & 2xz + 2wy & 0 \\ 2xy + 2wz & 1 - (2x^2 + 2z^2) & 2yz - 2wx & 0 \\ 2xz - 2wy & 2yz + 2wz & 1 - (2y^2 + 2x^2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

4.1.4 计算当前节点的三维世界坐标

通过计算得到当前节点的平移矩阵 T_i 和旋转矩阵 R_i ， T_i 和 R_i 做矩阵乘法可以将平移量和旋转量组合在同一个矩阵中，得到的矩阵再左乘从根节点到当前节点的父节点的矩阵 M_{parent} ，就可以得到当前的三维世界坐标矩阵 M_i ，见公式 4.5。

$$M_i = \begin{cases} M_{parent} * (T_i * R_i) & (i > 0) \\ T_0 * R_0 & (i = 0) \end{cases} \quad (4.5)$$

通过公式 4.6 得到当前节点的三维世界坐标 pos ， pos 由 x, y, z 三个分量构成。

$$pos = M_i * [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \quad (4.6)$$

4.2 舞蹈运动的绘制

计算出了所有节点的三维世界坐标后，就可以用 OpenGL 或者 DirectX 将三维坐标点和人体骨骼绘制出来，所有的帧按照时间序绘制就得到了人体运动的动画。作者基于 OpenGL 和 Qt 开发了一款运动播放器“Motion Player”，能够播放 ASE，BVH，TRC 等文件，图 4.1 是程序的主界面。

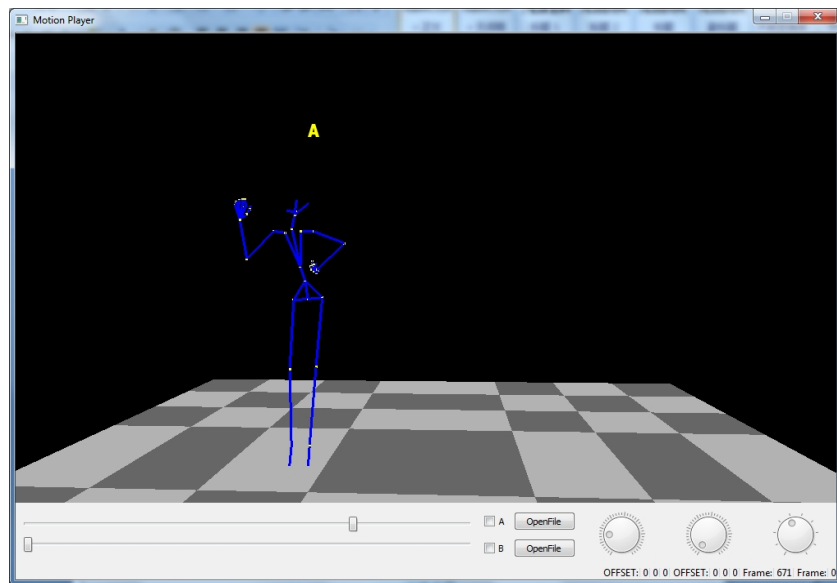


图 4.1 Motion Player 主界面

4.2.1 Motion Player

Motion Player 的功能是根据作者在调试数据压缩程序和舞蹈运动连接程序时，根据实际需求来开发的，非常实用。

Motion Player 能够在同一场景中同时播放两个相同或不同的对象，便于对象之间的交互，见图 4.2。

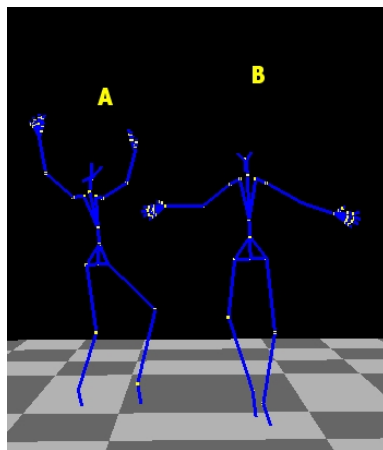


图 4.2 在同一场景中的两个对象 A, B

主程序界面右下角的三个刻度表盘分别用来调节播放速度、对象大小和地面大小。

通过控制键盘中的 W, A, S, D 键可以控制摄像机, 键盘中的 UP 键和 DOWN 键可以拉近或拉远摄像机。

A, B 两个复选框可以分别选中两个对象, 以便分别进行控制。

通过控制键盘中的 I, J, K, L 键可以平移选中的对象。

键盘中的 N 键可以切换对象的显示方式, Motion Player 设置了棍棒和三维点两种显示方式, 三维点的显示方式标出了骨骼编号。

5 舞蹈运动数据的无缝连接

在实际应用当中，往往只需要运动数据文件中的某一个或多个运动片段，直接将这些片段连接在一起，得到的运动会不自然，这时需要在需要连接的两个片段之间插入一个过渡片段，让片段之间的过渡更加接近自然的人体运动。舞蹈连接这项技术使舞蹈数据的应用不再局限于一个完整的、连续的动作序列，用户可以任意选取一些片段拼接在一起，组成新的动作序列，非常灵活。比如在舞蹈编排的时候，可以借鉴少数民族舞蹈中的部分动作片段，和现代舞蹈的片段相融合，非常利于舞蹈艺术方面的创新。本文主要从运动融合和运动合成这两方面来讨论舞蹈运动的连接。

5.1 运动融合

运动插值是运动融合的主要形式，运动插值是利用插值算法生成中间的过渡片段（见图 5.1），但对前后两个片段的相关性要求较高。比如片段 A 是走的运动，片段 B 是跑步的运动，插值算法能够基本满足要求；如果片段 A 是跳跃，片段 B 是跑步，插值出来的动作很难达到正常人体运动的效果，比较常见的问题是滑步。

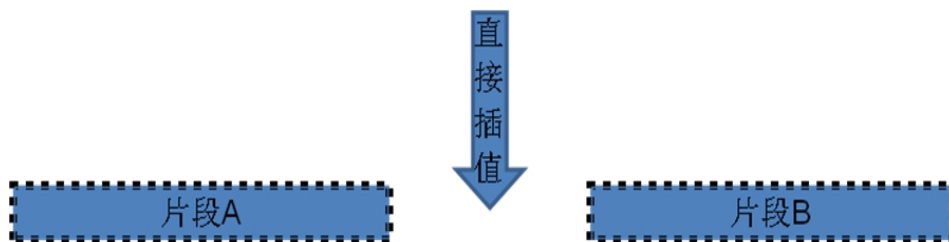


图 5.1 通过插值来过渡

直接插值的主要障碍是片段 A 和片段 B 的相似性是未知的，如果差异较大，直接在两个片段之间插值无法生成自然的过渡动作。如果能找到这样的一个片段 C，C 的起始帧和 A 的末尾帧足够相似，C 的末尾帧和 B 的起始帧足够相似，那么片段 C 就可以作为主要的过渡片段，然后在 A，C 的连接处和 C，B 的连接处插值，插值的帧数由相似性的大小来决定，见图 5.2。

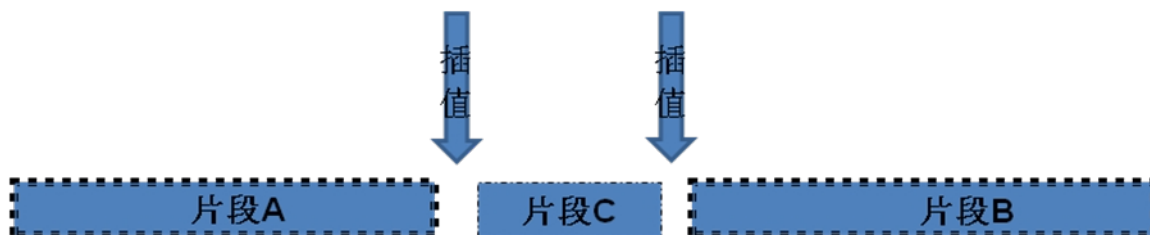


图 5.2 通过搜索过渡片段和插值来过渡

一个寻找相似片段的简单的方法是：用欧式距离来衡量两帧之间相似性的大小，在运动库中找到和 A 片段的末尾相似的一帧，找到和 B 片段的起始相似的一帧，这两帧以及之间的帧作为片段 C。

这种方法有一些缺陷：

(1) 四元数不适合用欧氏距离来度量

(2) 不同的骨骼对整个身体姿态的影响不同，比如脚趾和膝关节对身体姿态的影响是不同的，所以不同的骨骼应给予不同的权重。

(3) 计算量大，无法满足实时的要求

文献[15]介绍了一种预处理方法，使相似片段的搜索能够满足实时的要求，文献[16]提出了一种更好地度量相似性的方法（见公式 5.1），克服了上述的距离度量问题和权重问题。

$$D(F_i, F_j) = \min_{\theta, x_0, z_0} \sum_k \omega_k \| P_{i,k} - T_{\theta, x_0, z_0} P_{j,k} \|^2 \quad (5.1)$$

插值算法并非能完美应对所有的情况，在 A、C 之间，C、B 之间插值会遇到下面几种情况：

(1) 需要插值的两帧在世界坐标中的位移不同，片段 C 和片段 A、B 的位移一般会相差很远，为了解决这个问题需要将片段 C 平移到 A 的末尾。

(2) 在自然的人体运动中，两只脚不能同时滑动（这里不考虑滑到等特殊运动）。插值的时候如果同时对两只脚插值，两只脚就会同时滑动，应该先对一只脚插值，另外一只脚作为支撑，然后以同样的方式对另外一只脚插值。大腿、小腿和脚跟可以采用同样的方式来处理。

5.2 运动合成

运动合成是指将多个运动合成为一个运动，比如站立射箭的运动和跑步的运动，通过运动合成技术合成之后变成边跑步边射箭的运动，主要应用在计算机游戏、虚拟现实等场景中。运动合成中的一些方法值得借鉴，文献[17]提出了通过分析样本数据构建运动图的方式来做运动合成，主要步骤见图 5.3。

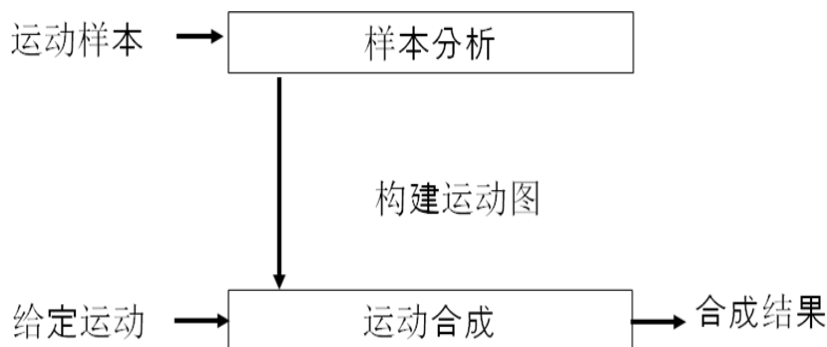


图 5.3 运动合成系统图^[17]

名词解释:

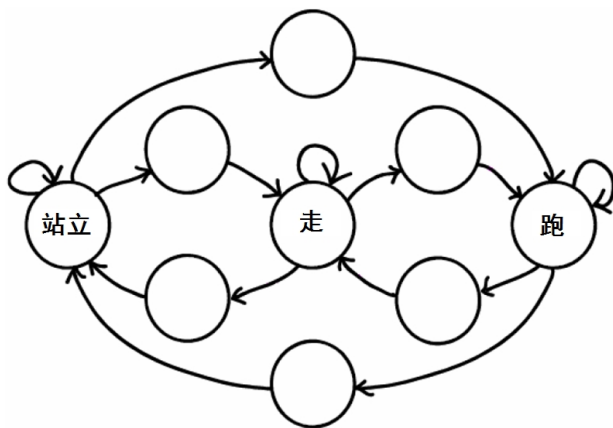
(1) 运动样本—通常是由很多运动数据构成的运动数据库

(2) 样本分析—首先将运动样本分组,同一组的运动应该具有相同的结构。

(3) 构建运动图—每一组运动作为一个单独的节点,能够无缝地相互过渡的节点之间由边相连。

(4) 运动合成—给定需要合成的动作,通过搜索运动图,找到可以过渡的路径。

如果只考虑人体下半部分的简单的运动,可以分为站立、走、跑三种运动状态,大部分运动都可以分到这三组运动状态中,那么构建运动图的时候可以将这三种状态作为节点,见图 5.4。

图 5.4 站立、走、跑构成的初步运动图^[17]

站立、走、跑这三种运动状态主要由站立、收左脚、收右脚等如图 5.5 的 5 个基本动作构成。

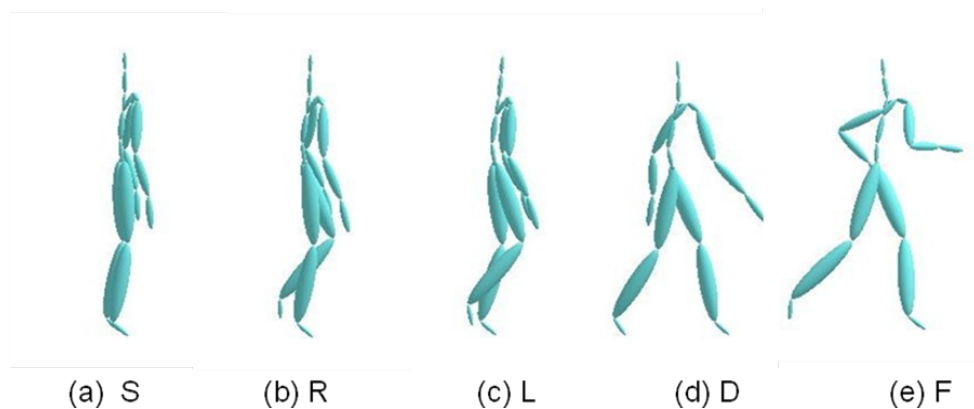
图 5.5 基本动作^[17]

表 5.1^[17]列出了基本动作序列能够构成的运动类型。

表 5.1 基本动作序列对应的运动类型

基本动作序列	运动类型
LDR	走
RDL	走
FLF	跑
FRF	跑
S	站立
LDRF	从走到跑
RDLF	从走到跑
FRDL	从跑到走
FLDR	从跑到走
LDRS	从走到站立
RDLs	从走到站立
SRDL	从站立到走
SLDR	从站立到走
SLDRF	从站立到跑
SRDLF	从站立到跑
FRDLS	从跑到站立
FLDRS	从跑到站立

在图 5.4 的运动图中加入基本动作序列，完整的运动图就构造好了，见图 5.6。

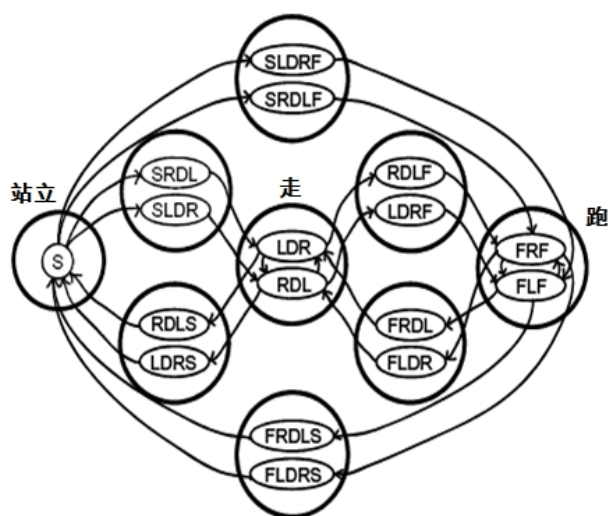


图 5.6 完整的运动图^[17]

构造完运动图之后，给定需要合成的动作，在运动图中搜索一条可以过渡的路径，运动合成就完成了。

对于舞蹈运动，站立、走、跑只是其复杂运动中很小的一部分，要涵盖所有动作，用运动类型来划分几乎不可能，本文提出一种按照支撑点来对动作进行分类的方法。支撑点是指与地面等环境接触的着力点，所有的关节点都可以作为支撑点。比如单手支撑、双手支撑、单脚支撑、双脚支撑、臀部支撑、膝盖支撑等，以及它们之间的组合，见图 5.7 和图 5.8。

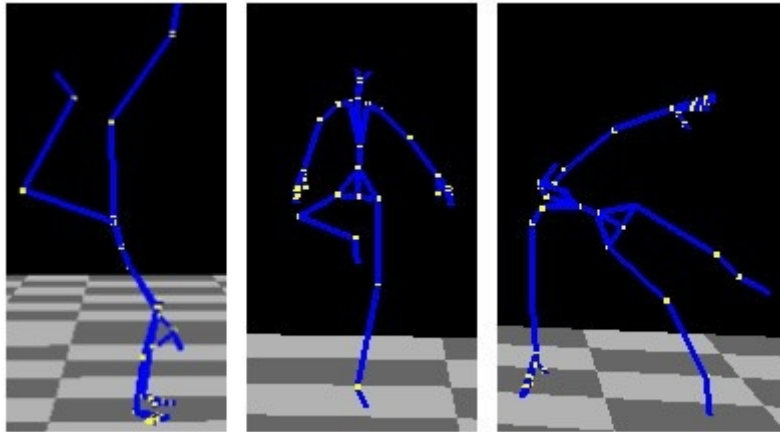


图 5.7 双手支撑、单脚支撑、单手单脚支撑

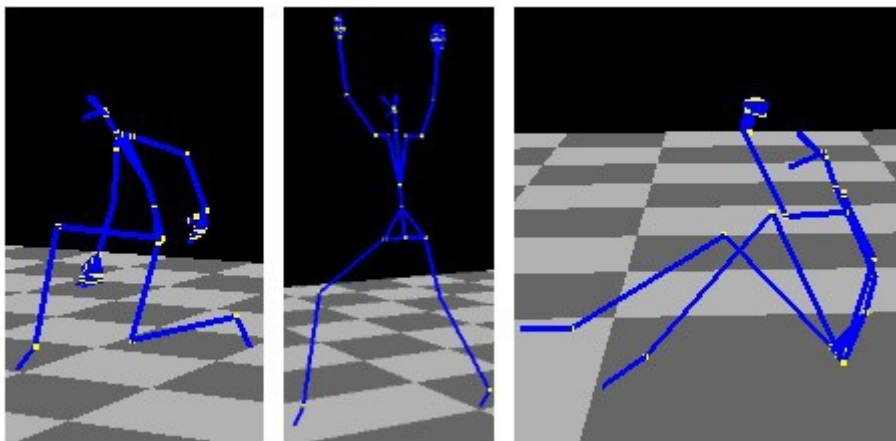


图 5.8 单膝双脚支撑、双脚支撑、臀部双脚支撑

站立、走、跑这类简单的人体动作，用运动图的方法能够很好地合成过渡运动，但舞蹈运动十分复杂，构建能够满足所有情况的运动图很困难。文献[16]也提供了一种类似的方法。

结 论

本文介绍了运动捕获技术在民族舞蹈保护方面的应用,作者实践操作了学校的光学运动捕获系统,捕获了 2000 帧左右的民族舞蹈数据。

作者开发了基于 OpenGL 和 Qt 的动作播放器,实现了同时播放两个对象,对选中的对象进行平移和缩放等功能,功能实用,界面美观。

设计并实现了双层的四元数插值算法,对 ASE 文件中的四元数进行压缩,使时间序上的压缩比达到 4:1,然后对剩余的浮点数进行量化,进而将压缩比提高到 8:1。

本文在舞蹈片段的连接方面进行了有意义的探索,尝试了直接插值,构建运动图,搜索过渡片段等多种方法,最终采用搜索过渡片段和插值来实现舞蹈片段之间的过渡,对于部分舞蹈片段可以实现较平滑的连接。在构建运动图对运动进行划分时,提出了按照人体支撑点来划分的方法。

参 考 文 献

- [1] STURMAN D J. A brief history of motion capture for computer character animation . ACM SIGGRAPH 94, Course Notes: Character Animation Systems, Orlando, FL, 1994: 33-61.
- [2] QQ炫舞. <http://zh.wikipedia.org/wiki/QQ%E7%82%AB%E8%88%9E>
- [3] 王鹏杰, 李威, 宋海玉, 等. 运用运动捕获技术的少数民族舞蹈艺术保护. 大连民族学院学报, 2012, 14(1): 72.
- [4] 邱望标, 李超. 基于运动捕捉技术的中国少数民族舞蹈艺术保护方法研究. 电子科技大学学报, 2009, 11(4): 101.
- [5] 向泽锐, 支锦亦, 徐伯初, 等. 运动捕捉技术及其应用研究综述. 计算机应用研究, 2013, <http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1196.TP.20130417.0953.104.html>
- [6] ASE File Format[OL]. http://wiki.beyondunreal.com/Legacy:ASE_File_Format
- [7] Dunn F, Parberry I. 3D Math Primer for Graphics and Game Development. Plano: Wordware Publishing, 2002. 149-180.
- [8] Dam E B, Koch M, Lillholm M. Quaternions, Interpolation and Animation. Technical Report DIKU, 1998, 98(5): 42.
- [9] Dunn F, Parberry I. 3D Math Primer for Graphics and Game Development. Plano: Wordware Publishing, 2002. 173-176.
- [10] Dunn F, Parberry I. 3D Math Primer for Graphics and Game Development. Plano: Wordware Publishing, 2002. 177-178.
- [11] Morten E D. Inverse Kinematics The state of the art. Department of Computer Science, University of Copenhagen, 2007.
- [12] M K. Approximation of data using cubic B'ezier curve least square fitting
- [13] James K. Cubic Splines. <http://www.math.ufl.edu/~kees/CubicSplines.pdf>
- [14] Liu G D, McMillan L. Segment-Based Human Motion Compression. Eurographics/ACMSIGGRAPH Symposium on Computer Animation, 2006.
- [15] Lucas K, Michael G. Automated Extraction and Parameterization of Motions in Large Data Sets. ACM Transactions on Graphic, 23(3), 2004.
- [16] Michael G, Hyun Joon S, Lucas K et al. Snap-Together Motion: Assembling Run-Time Animations [D]. Symposium on Interactive 3D Graphics, 2003.
- [17] Taesoo K, Sung Y S. Motion Modeling for On-Line Locomotion Synthesis. Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, 2005.

致 谢

做毕业设计和论文是一个比较艰苦的过程，幸运的是在这个艰苦的过程中，有王鹏杰老师的全程指导，还有同学们的帮助和陪伴。从毕业设计的选题到相关论文的阅读和实现，从代码的编写、调试到论文的撰写、修改，王鹏杰老师都给予了细心的指导，在这里衷心感谢。论文完成之后，最头疼的事情应该就是修改论文格式，感谢同小组的同学给本人提出的格式修改意见。

在查找资料的过程中，已有的论文、博客文章、互联网中的实践心得等网络资源同样给予我很多帮助和启发，在这里同样感谢那些付出过自己辛劳与智慧的前辈们。

课程设计从大一到大四一直伴随着我们的成长，学院的老师、学校的同学们更是如此，在毕业之际，特在此感谢一路相伴的老师和同学们，谢谢你们在本人学习和成长的道路中给予的关心和帮助。