

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЙЛОВ РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ

Д. А. Лавшук, Д. Нвабуиси
(МГУ имени А. А. Кулешова, Могилев, Беларусь)

В статье описываются приемы обработки файлов формата BVH (Biovision Hierarchy Animation File) для анализа и компьютерного синтеза движений биомеханических систем. Обсуждается структура подобных файлов и технология модификации файлов этого формата с целью реконструкции движений биомеханических систем с произвольным числом звеньев и последующей визуализацией траекторий движения на компьютере.

Ключевые слова: анимация движения биомеханических систем, BVH-файлы, большой оборот назад на перекладине.

Биомеханическая видеорегистрация пространственных перемещений спортсмена – технически сложная задача. Данная процедура предполагает использование нескольких видеокамер, установленных стационарно и дальнейшую трудоемкую процедуру промера полученных видеофайлов. Конечная цель промера – получение координат перемещения ключевых точек на теле регистрируемого субъекта движения. В качестве таковых обычно принимаются суставы спортсмена, в кото-

рых совершаются сгибательно-разгибательные действия. Если движение сложное по своей биомеханической структуре, таких точек зачастую больше десяти. Частота видеосъемки для регистрации быстрых спортивных локомоций может превышать 100 кадров в секунду. Тогда для промера одной секунды регистрируемого движения необходимо совершить более 1000 считываний координат регистрируемых точек. В современной биомеханике эту роль возлагают на программно-аппаратные комплексы, которые представляют собой наборы скоростных камер, светоотражающих маркеров и специализированного программного обеспечения, обеспечивающего автоматическую расшифровку файлов видеорегистрации с последующей записью информации в компьютерные файлы.

Один из наиболее популярных форматов записи движений антропоморфных механизмов – файлы формата BVH. Формат файла разработан фирмой Biovision для описания движений пространственных моделей. Это текстовый файл, состоящий из двух секций. Первая секция, обозначенная ключевым словом *HIERARCHY*, описывает структуру модели (рис. 1)

```

HIERARCHY
ROOT Hip
{
  OFFSET 0.000000      0.000000      0.000000
  CHANNELS 6 Xposition Yposition Zposition Xrotation Yrotation Zrotation
  JOINT LowerSpine
  {
    OFFSET 0.000000      8.159835      -5.015260
    CHANNELS 3 Xrotation Yrotation Zrotation
    JOINT MiddleSpine
    {
      OFFSET 10.615660      0.000000      0.000000
      CHANNELS 3 Xrotation Yrotation Zrotation
      JOINT Chest
      {
        OFFSET 14.958430      0.000000      0.000000
        CHANNELS 3 Xrotation Yrotation Zrotation
        JOINT Neck
        {
          OFFSET 25.091550      -0.585305      0.000000
          CHANNELS 3 Xrotation Yrotation Zrotation
          JOINT Head
        }
      }
    }
  }
}

```

Рисунок 1 – Часть секции HIERARCHY, описывающая структуру используемой модели

На рис. 1 приведена начальная часть этой секции, начиная от таза (*Hip* в переводе с английского означает «бедро», но фактически это точка «стыковки» ног и позвоночника модели). Секция *OFFSET* задает начальные декартовы координаты этой точки. Обычно они равны

нулю, указывая, что все остальные точки модели отсчитываются от нее. Ключевое слово *CHANNELS* позволяет задать число степеней свободы этого звена модели. Для первого звена число степеней свободы равно шести – оно может перемещаться в пространстве и менять свою угловую ориентацию. Последующие звенья модели *LowerSpine* (нижняя часть позвоночника), *MiddleSpine* (средняя часть позвоночника), *Neck* (шея) и *Head* (голова) имеют только три угловые координаты, так как их положение связано с предыдущими в цепочке звеньями. Слово *OFFSET* позволяет задать длины звеньев модели, указывая декартовое смещение следующей точки модели относительно предыдущей.

Описание модели имеет иерархическую структуру. Вложенность элементов модели определяется символами “{” и “}”, позволяя настраивать порядок следования звеньев модели.

Вторая секция *MOTION* описывает данные анимации модели. Ключевые слова *Frames* и *Frame time* описывают соответственно число кадров анимации и частоту кадров. После этого последовательно с первого кадра по последний в файле представлены значения координат модели для каждого кадра. Их число равно сумме заданных в описании модели числу каналов (*CHANNELS*) (рис. 2).

```

MOTION
Frames: 250
Frame Time: 0.016667
-1.134529 93.042686 1.254725 -1.240345 -43.533366 0.091918 -0.000005 10.181586 0.131518 14.623980 5.0911
-0.994858 92.792160 1.722188 -1.336897 -43.691921 0.138556 -0.000005 10.181581 0.131523 14.917676 5.0824
-0.855188 92.541626 2.189652 -1.433884 -43.850402 -0.185687 -0.000005 10.181589 0.131522 15.211292 4.9140
-0.662489 92.153290 2.830551 -1.489472 -44.102625 -0.140280 -0.000005 10.181590 0.131520 15.580838 4.9163
-0.469630 91.764923 3.471450 -1.544993 -44.354903 -0.095134 -0.000006 10.181602 0.131521 15.950394 4.9183
-0.276850 91.376572 4.112349 -1.600449 -45.207233 -0.050251 -0.000005 10.181566 0.131521 16.319955 4.9216
-0.084072 90.988220 4.753247 -1.655844 -45.659589 -0.005633 -0.000005 10.181596 0.131521 16.689516 4.9251

```

Рисунок 2 – Часть секции *MOTION*, описывающая координаты кадров анимации

Укажем два направления использования файлов BVH в биомеханическом анализе и синтезе. Для решения задач биомеханического анализа по данным координат модели, записанным в файле, возможен расчет производных биомеханических характеристик анализируемых движений. Действительно, зная координаты суставов модели и частоту кадров, возможен расчет линейных и угловых перемещений звеньев и суставов, их скоростей и ускорений. Формат файла не предполагает хранение масс-инерционных характеристик модели, но они могут быть получены через непосредственное измерение спортсмена. В этом случае возможен и расчет динамических характеристик движения.

Другое направление использования файлов BVH – биомеханический синтез. Зная формат файла, мы можем внести в него коррекции для построения движения, не исполнявшегося на практике. Но, так как полная антропоморфная модель состоит из большого числа звеньев, работа с таким файлом не представляется удобной. Зачастую требуется моделировать движение только одной конечности спортсмена – руки или ноги. Либо сгибательно-разгибательные действия выполняются только в ограниченном числе суставов, и необязательно для моделирования пользоваться полной антропоморфной моделью с большим числом подвижных соединений. Но, зная формат файла BVH, возможна разработка модели «с чистого листа».

Поставим следующую задачу – построить компьютерную анимационную модель гимнастического элемента «большой оборот назад на перекладине», начальное положение – стойка на руках.

Сначала создадим чистый текстовый файл, присвоим ему расширение BVH, в начале файла опишем структуру модели (рис. 3)

```

HIERARCHY
ROOT Arms
{
  OFFSET 0.0 0.0 0.0
  CHANNELS 6 Xposition Yposition Zposition Zrotation Xrotation Yrotation
  JOINT Body
  {
    OFFSET 0 0 10.0 0.0
    CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
  }
  JOINT Legs
  {
    OFFSET 0 0 12.0 0.0
    CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
  }
  End Site
  {
    OFFSET 0 0 16.0 0.0
  }
} } }

```

Рисунок 3 – Секция HIERARCHY, описывающая модель гимнаста

Модель состоит из 3-х звеньев: *Arms* (руки), *Body* (туловище), *Legs* (ноги). Этих звеньев достаточно для моделирования большого оборота назад, так как сгибания/разгибания выполняются только в плечевых и тазобедренных суставах. Так как модель пространственная, а движение мы рассматриваем только в одной плоскости, перпендикулярной грифу перекладины, то длины звеньев мы зададим начальными координатами суставов в плоскости Oxy. В приведенной на рисунке модели длины звеньев, начиная с первого звена «руки», установлены в 10, 12 и 16 единиц соответственно. Причем файл BVH не хранит линейных единиц из-

мерения и часто по умолчанию предполагается, что это сантиметры, но это не всегда. Фактически, мы всего лишь задаем соотношение между длинами сегментов модели. На рисунке 4 приведен текст второй секции файла, описывающий движение модели.

```

MOTION
Frames: 23
Frame Time: 0.033333
0.0 0.0 0.0 16.6 0.0 0.0 7.0 0.0 0.0 -2.7 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 27.8 0.0 0.0 6.2 0.0 0.0 0.2 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 39.6 0.0 0.0 5.5 0.0 0.0 2.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 52.7 0.0 0.0 4.7 0.0 0.0 0.8 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 67.5 0.0 0.0 3.9 0.0 0.0 -5.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 84.1 0.0 0.0 3.2 0.0 0.0 -15.8 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 102.3 0.0 0.0 2.8 0.0 0.0 -28.2 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 121.9 0.0 0.0 2.7 0.0 0.0 -36.5 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 142.9 0.0 0.0 2.9 0.0 0.0 -37.2 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 164.8 0.0 0.0 3.9 0.0 0.0 -31.4 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 186.3 0.0 0.0 6.4 0.0 0.0 -22.3 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 205.5 0.0 0.0 11.8 0.0 0.0 -11.1 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 222.1 0.0 0.0 20.6 0.0 0.0 -0.8 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 237.3 0.0 0.0 31.0 0.0 0.0 3.9 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 253.8 0.0 0.0 38.2 0.0 0.0 2.2 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 272.9 0.0 0.0 38.1 0.0 0.0 -2.3 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 293.4 0.0 0.0 31.3 0.0 0.0 -5.4 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 312.2 0.0 0.0 21.5 0.0 0.0 -5.5 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 327.2 0.0 0.0 12.7 0.0 0.0 -3.1 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 338.7 0.0 0.0 6.6 0.0 0.0 -0.3 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 347.8 0.0 0.0 3.5 0.0 0.0 1.6 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 355.8 0.0 0.0 3.0 0.0 0.0 2.3 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 363.3 0.0 0.0 4.1 0.0 0.0 1.9 0.0 0.0

```

Рисунок 4 – Секция MOTION, описывающая движение модели гимнаста

Движение описывается 23 кадрами с частотой 30 кадров в секунду ($Frame\ time = 0.033333$). Число координат модели, согласно секции HIERARCHY, равняется двенадцати – три декартовы координаты начальной точки модели, которые на всей траектории движения установлены в ноль, и девять угловых координат – по три на каждое звено модели. Так

как мы моделируем движение в одной плоскости, то изменяется только одна угловая координата каждого звена. Угловые координаты задаются в градусах, причем для дистальных звеньев задается присоединенный угол, а не абсолютная градусная мера.

В результате мы получаем полноценную трехмерную модель большого оборота назад на перекладине. На рисунке 5 приведены несколько положений гимнаста, реализующего заданную нами программу движения.

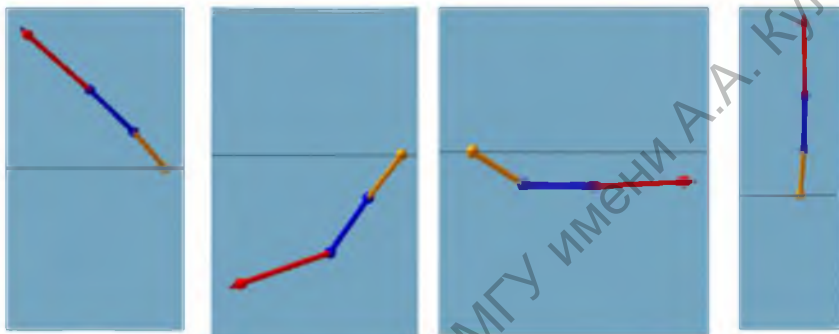


Рисунок 5 – Демонстрация результатов моделирования большого оборота назад на перекладине через создание файла BVH

Разработанные модели движений биомеханических систем в формате файлов BVH можно в дальнейшем использовать для построения различных вариантов траекторий движения спортсменов. Такие модели являются мощным инструментом обеспечения наглядности при обучении новым упражнениям. Реализация блока расчета биомеханических характеристик по данным файла BVH позволит организовать контроль за биомеханическими характеристиками моделируемых вариантов движений, позволяя «отсекать» варианты, не удовлетворяющие заранее заданным кинематическим и динамическим ограничениям.

Список литературы

1. Meredith, M. Motion Capture File Formats Explained [Электронный ресурс] / M. Meredith, S. Maddock. – Mode of access: https://staffwww.dcs.shef.ac.uk/people/s.maddock/phd_theses/meredith/MeredithMaddock2001_CS0111.pdf. – Date of access: 01.12.2025.