

Санкт-Петербургский Государственный Университет

Математико-механический факультет

Кафедра системного программирования

Моделирование одежды в реальном времени

Дипломная работа студента 461 группы

Егоровой Елизаветы Сергеевны

Научный руководитель	.....	ст. преп. Сартасов С.Ю.
	/подпись/	
Рецензент	.....	Мордвинов Д.А.
	/подпись/	
“Допустить к защите”	.....	д.ф.-м.н., профессор Терехов А.Н.
Заведующий кафедрой	/подпись/	

Санкт-Петербург

2014

St. Petersburg State University
Mathematics and Mechanics Faculty

Software Engineering Department

Clothes modelling in real time

Graduate paper by
Egorova Elizaveta
461 group

Scientific advisor	.....	Assistant Professor S.Sartasov
	/signature/	
Reviewer	.....	D.Mordvinov
	/signature/	
“Approved by”	.....	Professor A.Terekhov
Head of the Department	/signature/	

Saint Petersburg
2014

Оглавление

1. Введение.....	4
2. Постановка задачи.....	7
3. Обзор существующих решений.....	8
3.1 Анимация одежды в графических редакторах.....	8
3.2 Методы анимации одежды в реальном времени.....	10
3.2.1 Моделирование одежды в Карнеги-Меллон.....	10
3.2.2 Моделирование одежды в играх.....	11
3.2.3 Симуляция одежды, основанная на контексте.....	12
4. Средство анимации одежды с использованием разделения одежды на участки.....	14
4.1 Разделение одежды на участки.....	14
4.2 Анимация близко прилегающих к телу участков.....	15
4.3 Модель пружин и весов.....	16
4.4 Построение модели пружин и весов.....	17
4.5 Проверка столкновений.....	18
4.6 Моделирование поведения одежды с учетом анимации тела.....	20
4.7 Визуализация.....	20
5. Эксперименты.....	21
5.1 Составляющие эксперимента.....	21
5.2 Результаты эксперимента.....	22
6. Заключение.....	24
7. Список литературы.....	25
8. Результаты.....	26

1. Введение

Каждый человек, работающий за компьютером, так или иначе, сталкивался с трехмерной графикой. Поскольку люди привыкли видеть вокруг себя объемные предметы, закономерно, что и в виртуальной среде создатели компьютерных приложений стремятся предоставить пользователю реалистичные объекты, наиболее приближенные к окружающей среде.

Сегодня использование трехмерной графики востребовано не только в информационных технологиях. Компьютерные игры, архитектура и строительство, кинематограф и мультипликация, машиностроение – и это далеко не все сферы применения трехмерной графики. Многие из этих сфер уже невозможно представить без качественно выполненной 3D-графики.

Впервые простые трехмерные модели на основе эскизов были смоделированы в 1960-х годах в университете Юты (США) Иваном Сазерлендом и Дэвидом Эвансом. Начиная с середины 70-х годов, их последователи продолжили развивать технологии работы с 3D-графикой и анимацией. Фундаментальные исследования, проведенные в тот период, послужили основой и началом зарождения представления о реалистичной компьютерной графике.

Являясь производной от компьютерной графики, компьютерная анимация является видом мультипликации, создаваемой компьютером, и представляет собой перемещение точек графического объекта во времени.

Для реалистичного движения человека в виртуальной среде удобно использовать скелетную анимацию. Данный вид анимации заключается в том, что создается скелет, представляющий собой, как правило, древообразную структуру костей. Каждая из костей в этой структуре связана с предыдущей, начиная от главной, корневой кости. При движении одной кости двигаются и все ее наследники, в этом и заключается принцип скелетной анимации. После создания скелета каждая вершина модели или графического объекта прикрепляется к одной или нескольким костям. Таким образом, при движении кости, двигаются и все вершины, прикрепленные к ней. Данный метод

анимации сокращает объем информации, необходимый для анимирования объекта, так как достаточно хранить информацию о движении костей, а движения вершин будут вычисляться исходя из этой информации.

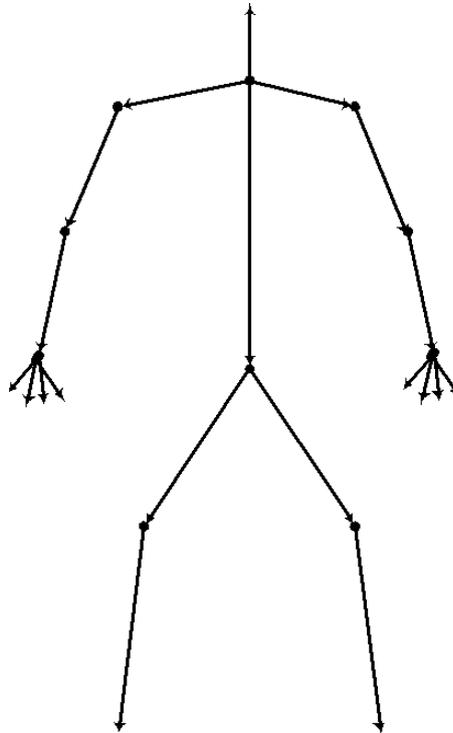


Рис. 1. Структура скелета человека

Скелетная анимация с развесовками позволяет прикреплять вершину не к одной кости, а сразу к нескольким, при этом для каждой кости определяется вес, который служит для определения влияния этой кости на перемещение вершины. Чем больше вес кости для определенной вершины, тем сильнее смещается вершина под влиянием кости.

Задача анимации одежды возникает сразу же после появления задачи анимации персонажа. Когда модель человека движется, одежда должна правдоподобно сидеть на персонаже и двигаться вслед за ним. Подобную реалистичность пытаются достигнуть различными способами. Физически обоснованное движение ткани требует больших вычислительных мощностей, которых, зачастую, нет. В таких случаях, для упрощения моделирования, используются текстуры, имитирующие складки и неровности на одежде.

Чаще всего используемая анимация одежды фиксирована, т.е. заранее известны движения, производимые персонажем. Иногда этого бывает

недостаточно, например, при динамическом изменении движения персонажа, при появлении сторонних сил (ветер, свободное падение объекта). В связи с доступностью существенных вычислительных мощностей и для повышения качества получаемого изображения возникает задача анимации одежды в реальном времени.

2. Постановка задачи

Целью данной работы является создание средств анимации одежды с учетом анимации модели тела.

В связи с этим выделены следующие задачи.

- 1) Изучение существующих способов анимации одежды, включающих в себя моделирование одежды при помощи графических редакторов, а также методов анимации одежды в реальном времени.
- 2) Изучение технологии DirectX, которая позволяет работать с трехмерными объектами и средой для их визуализации.
- 3) Создание алгоритма анимации одежды в реальном времени с учетом динамической анимации тела.
- 4) Реализация программного модуля анимации одежды в реальном времени на основе созданного алгоритма, благодаря которому одежда должна выглядеть естественно и двигаться согласно физическим законам.

3. Обзор существующих решений

Существует множество способов анимации одежды. Обычно моделирование анимации одежды происходит либо непосредственно при создании одежды, путем наложения одежды на тело и анимации сразу двух моделей, либо с помощью программных средств. В данном разделе рассматриваются следующие методы создания анимации: анимация в графических редакторах; метод, разработанный в университете Карнеги-Меллон [1] (далее – метод Бараффа-Виткина); метод, разработанный для использования в компьютерных играх [3] (далее – метод Кавана); метод, использующий контекстную информацию [2] (далее – метод Кордые - Талман).

3.1 Анимация одежды в графических редакторах

С помощью графических редакторов можно создавать фиксированную анимацию одежды, которая будет статична и ее можно будет поменять только при изменении анимации тела и при условии, что модель тела и одежда соединены и используются в качестве одной модели.

При работе с графическими редакторами, такими как 3ds Max, Blender, Marvelous Designer, было выявлено несколько причин, по которым их использование неудобно в рамках задачи данной научно-исследовательской работы.

Во-первых, задача создания анимации достаточно трудоемка, поскольку необходимо знание множества функций и возможностей графического редактора и умение ими пользоваться. Также стоит отметить, что поверхностного пользования редактором недостаточно для решения такой нетривиальной задачи, как анимирование объекта.

Следующей причиной является вероятное несоответствие анимации физическим законам. При моделировании анимации в графических редакторах не учитываются такие изменчивые силы, как ветер, гравитация. Например, при падении персонажа, на его одежду должна воздействовать сила сопротивления воздуха для реалистичного изображения.

И самой важной причиной послужила возможность создания в графических редакторах только лишь фиксированной анимации. Данный вид анимации можно применять на присоединенных друг к другу моделях (модель тела персонажа и модель одежды), что ограничивает возможности последующего изменения анимации. Так как модели связаны, задача их разъединения достаточно трудоемка, поэтому, если персонаж сменил одежду, необходимо заново создавать анимацию для новой одежды.

Вышеописанные причины наглядно иллюстрируют невозможность использования графических редакторов для решения задачи моделирования одежды в реальном времени.

3.2 Методы анимации одежды в реальном времени

3.2.1 Моделирование одежды в Карнеги-Меллон

В Университете Робототехники Карнеги-Меллон был разработан метод моделирования одежды на человеке при движении [1]. Этот метод подразумевает под собой разбиение одежды на полигоны, для каждого из которых вычисляется положение в пространстве и масса получившегося полигона. Далее, в зависимости от прилагаемых сил, вычисляется новое положение полигона в пространстве. Также учитываются коллизии, возникающие при соприкосновении одежды с твердыми (модель тела) и мягкими (модель одежды) телами. Для этого на фрагменты одежды налагаются специальные ограничения. Согласно авторам данного метода, в результате его работы получаются реалистичные изображения, которые физически обоснованы. Но, в то же время, для реализации данного метода необходимы немалые затраты на время и память, поскольку требуется большое количество вычислений.



Рис.2. Моделирование ткани в методе Бараффа-Виткина (рисунок взят из [1]).



Рис.3. Моделирование одежды в методе Бараффа-Виткина (рисунок взят из [1]).

3.2.2 Моделирование одежды в играх

Для использования в играх был разработан метод [3], который изначально использует грубую приближенную модель одежды. Поведение одежды моделируется с учетом анимации тела, в результате чего получается грубая модель полученной при движении одежды. Далее с помощью дискретных операторов, которые основываются на физических законах, полученная модель детализируется и улучшается до приемлемого приближения.

Метод можно использовать в играх реального времени, потому что затрачивается небольшое время и память. Однако, реализация данного метода очень сложна, поскольку используемые дискретные операторы нетривиальны.

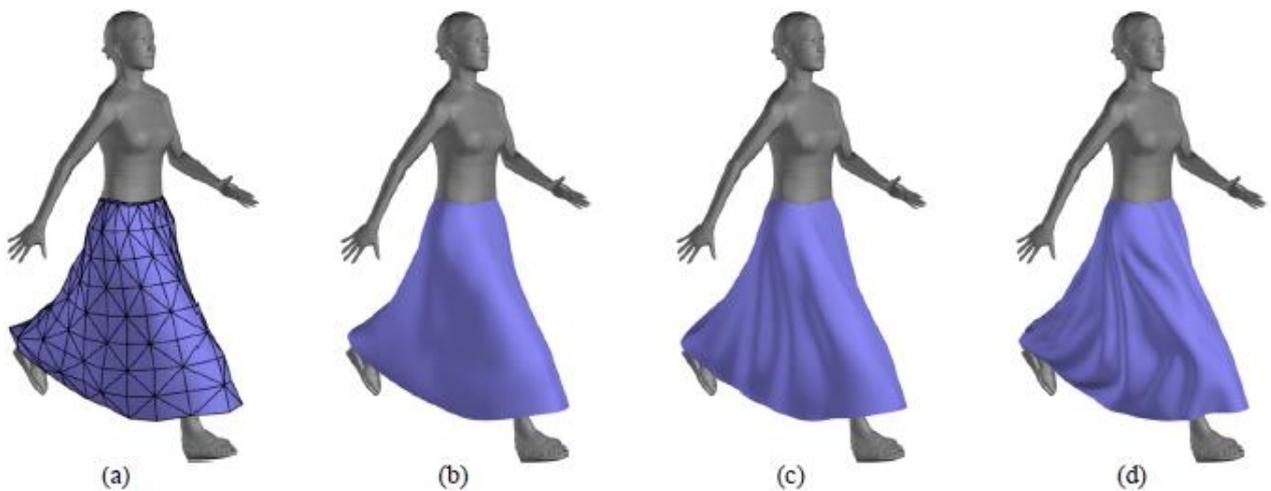


Рис.4. Моделирование одежды в методе Кавана (рисунок взят из [3])

3.2.3 Симуляция одежды, основанная на контексте

Фредерик Кордые и Надия Магненат-Талман описывают метод моделирования движения одежды, который основывается на степени прилегания одежды к телу [2]. Для близко прилегающих участков одежды выбирается ближайшая вершина на модели тела, и ее анимация переносится на модель одежды. Для менее облегающих участков (рукава, штанины) высчитываются специальные ограничивающие окружности, которые не позволяют модели тела выходить за пределы одежды. Для свободно прилегающей одежды составляется система масс и пружин, которая способствует свободному и реалистичному движению одежды.

Данный метод удобен тем, что для его выполнения требуются небольшие затраты на время и память, а результаты более чем реалистичные. Недостатком данного метода является то, что нет возможности учитывать сторонние силы, действующие на одежду (ветер) и не задействована плотность и масса ткани, которая также может повлиять на ее движение.

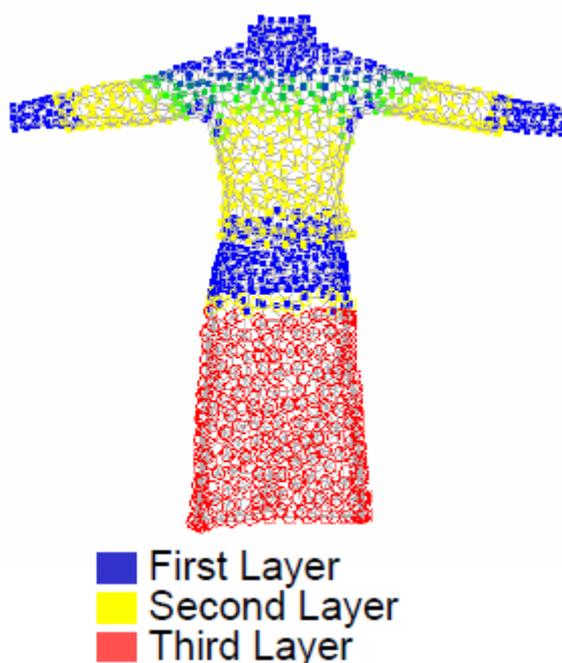


Рис.5. Разделение одежды на участки (рисунок взят из [2])



Рис.6. Моделирование одежды методом Кордье-Талман (рисунок взят из [2])

4. Средство анимации одежды с использованием разделения одежды на участки

За основу взят метод симуляции одежды на основе контекстной информации [2], который требует малое время и затраты на вычисление. Данный метод показался интересным для исследования на доступных в настоящее время вычислительных мощностях.

Алгоритм адаптирован для технологии DirectX, с помощью которой проводятся преобразования, расчеты и визуализация результатов. Реализация средства моделирования написана на языке программирования C++.

В реализованном алгоритме участки одежды второго типа (штанины, рукава) учитываются в качестве близко прилегающих фрагментов для облегчения вычислений.

Алгоритм включает в себя последовательность из 7 шагов.

4.1 Разделение одежды на участки

Первым шагом алгоритма является разделение модели одежды на участки разной степени прилегания к телу. В большинстве случаев одежда персонажа прилегает к телу неравномерно, и можно выделить фрагменты одежды с разным расстоянием от модели тела до одежды.

Для каждого полигона модели одежды находится ближайшая вершина на модели тела. В зависимости от наибольшего и наименьшего расстояния от полигонов до вершин, вычисляется среднее расстояние, и полигоны делятся на 2 типа:

- полигоны, находящиеся ближе, чем 0.25 среднего расстояния;
- полигоны, превышающие 0.25 среднего расстояния.

Данные оценки разделения полигонов были получены эмпирическим путем с целью усреднить количество полигонов каждого типа.

4.2 Анимация близко прилегающих к телу участков

Следующим шагом алгоритма является перенос анимации с тела на одежду для близко прилегающих к телу участков.

Изначально модель одежды представляется в качестве обычного трехмерного объекта. Для переноса анимации необходимо создать новый объект, который будет содержать не только данные о полигонах и вершинах модели, но и о строении скелетной структуры, о прикреплении вершин к костям, об анимации, созданной для данного скелета.

Поэтому первым шагом является создание подобного объекта. Для модели одежды копируются данные о строении скелета, анимации костей скелета, о матрицах расположения костей.

Далее происходит перенос анимации для модели одежды. Для близко прилегающих к телу полигонов находится ближайшая вершина на модели тела. С помощью информации, извлеченной из модели тела с уже наложенной анимацией, получаем данные о влиянии костей на вершины модели тела.

Следующим шагом является сопоставление соответствующих вершин одежды и тела. Для этого находятся ближайшие вершины на модели тела. С помощью переноса анимации таким способом, одежда на персонаже будет сидеть правильно, и модель тела не будет перекрывать одежду при движении.

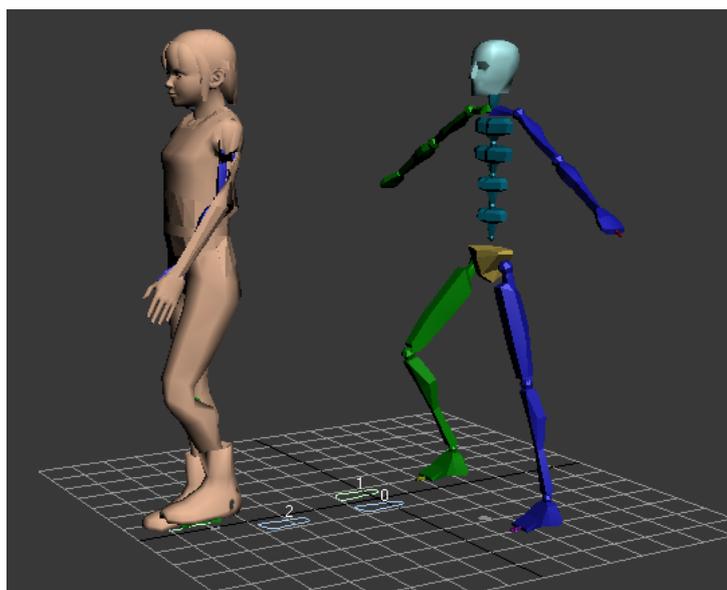


Рис.7. Модель тела и скелетная структура

4.3 Модель пружин и весов

Далее необходимо спроектировать модель пружин и весов для свободно прилегающих участков. Для свободно прилегающих фрагментов ткани создаются специальные структуры.

1) Структуры, описывающие точки одежды.

Каждая точка представляет собой структуру, у которой есть следующие компоненты:

- начальные координаты, которые соответствуют начальному положению вершины модели одежды;
- текущие координаты, которые соответствуют положению точки модели в данный момент;
- сила, действующая в данный момент на точку;
- скорость точки в данный момент времени;
- масса точки, которая влияет на движение данной точки под воздействием сил.

Масса точки варьируется от 0 до 1. В существующем алгоритме Кордье-Талман не учитывается плотность материала одежды. В данном средстве моделирования одежды такая возможность есть, что позволяет использовать его более гибко.

2) Пружины, соединяющие точки модели.

Пружины в данной системе представляют собой структуры, состоящие из следующих компонент:

- пара точек, которую соединяет пружина;
- длина пружины в состоянии покоя;
- жесткость пружины;
- указатель на следующую пружину.

Длина пружины в состоянии покоя вычисляется посредством подсчета расстояния между точками. Наличие параметра жесткости пружины позволяет варьировать силу отклика фрагментов ткани на прилагаемую к ним силу, что

позволяет достигнуть более реалистичного изображения. В существующем методе такой возможности нет.

3) Структура, представляющая собой систему весов и пружин.

Данная структура представляет собой расширение существующей структуры для хранения объектов трехмерной модели. Экземпляр структуры содержит следующие элементы:

- количество точек и указатель на массив с точками;
- количество пружин и указатель на список пружин;
- информация о трехмерной модели.

4.4 Построение модели пружин и весов

В зависимости от времени, прошедшего с момента начала анимации, силы меняются и, следовательно, меняется положение точек, с учетом масс и пружин. Для реалистичного движения одежды необходимо учитывать множество сил (гравитация, трение, движение тела).

Также на модели одежды должны быть проставлены специальные контрольные точки, которые всегда находятся на одном и том же месте на модели тела, относительно модели масс и пружин, и на которые не действуют силы. Эти точки необходимы для того, чтобы одежда не упала вследствие гравитации или ветра, поэтому они имеют нулевую массу. В качестве таких точек берутся вершины из близко прилегающих к телу фрагментов одежды.

После построения модели пружин и весов, также необходимо обеспечить правильную работу сил. Для этого у каждой точки имеются значения силы и ускорения в данный момент времени. В зависимости от массы точки и плотности пружины значения силы и ускорения точки меняются с течением времени, что моделируется с помощью стандартных физических законов.

Далее, после вычисления новых значений силы и ускорения для каждой точки, ищется ее новое положение в трехмерном пространстве сцены. Полученное положение в дальнейшем будет участвовать в построении нового положения модели одежды.

Благодаря использованию физических законов в вычислениях, движение одежды получается правдоподобным и естественным.

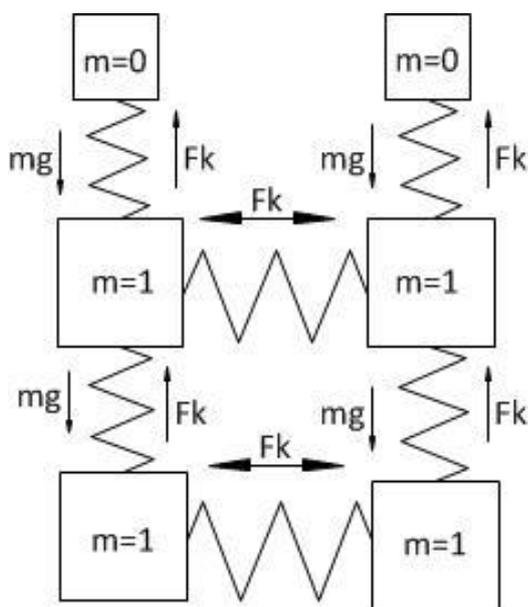


Рис.8. Система масс и пружин.

На рис.8 изображена система масс и пружин. Верхние точки – контрольные, поэтому они имеют нулевую массу. Остальные точки имеют единичную массу (по умолчанию). На пружины действуют силы тяготения, зависящие от масс соединяемых точек, и силы упругости, зависящие от длины пружины и от ее жесткости. Работа системы масс и пружин моделируется с помощью закона Гука.

4.5 Проверка столкновений

Модель одежды необходимо проверять на столкновения. Столкновения могут возникать в результате появления складок на одежде или же в результате соприкосновения одежды с телом. Для каждого случая вычисления происходят по-разному. Это обусловлено тем, что столкновения мягкого объекта с мягким (ткань) и мягкого объекта с твердым (модель тела) физически совершенно различны.

Коллизия, или столкновение, происходит, если после наложения сил ткань попадает за внешние границы модели тела. При возникновении столкновения одежды с моделью тела вычисляется сила, которая “выталкивает” ткань из приближенной модели тела.

Поскольку для вычисления столкновения модели одежды и модели тела требуются большие затраты производительности, для проверки столкновений используется упрощенная модель тела. Каждая нога человека представлена в качестве 2 цилиндров (бедро и голень) и сферы (колени).

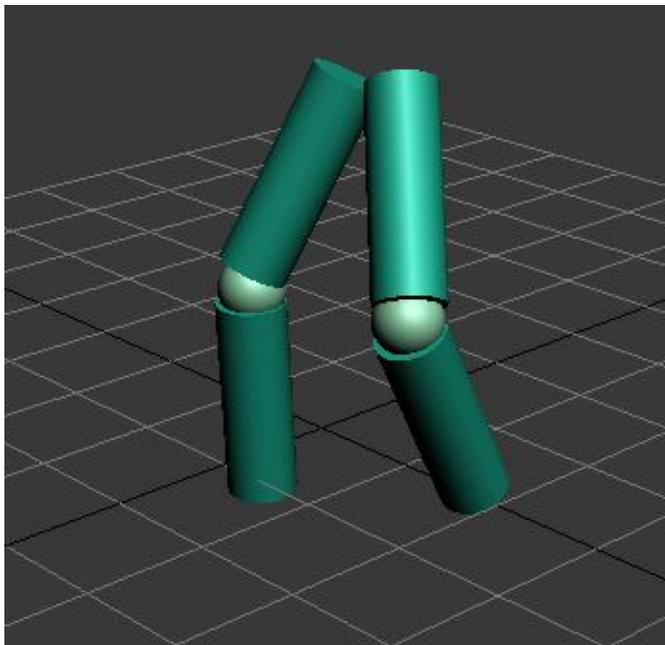


Рис.9. Упрощенная модель ног человека.

Для проверки на столкновения создаются объекты столкновений, в данном случае – цилиндры и сферы. Данные объекты привязаны к определенным точкам на модели тела. При движении тела во время анимации, положение точек меняется, поэтому и объекты столкновений должны меняться. Чтобы информация о местоположении объектов оставалась актуальной, при подсчете каждого кадра анимации старые объекты столкновений удаляются и создаются новые на основе нового положений точек модели тела.

При вычислении новых координат точек модели масс и пружин проверяется положение этих точек относительно каждого объекта столкновений. Если точка находится внутри объекта столкновения, что говорит о том, что коллизия произошла, точка выталкивается из объекта, при этом меняется ее ускорение.

После построения модели «масс и пружин» и моделирования столкновений, можно приступать к моделированию анимации всей одежды в целом.

4.6 Моделирование поведения одежды с учетом анимации тела

Для каждого полигона и для каждой вершины модели одежды в определенные моменты времени высчитывается новое положение, которое зависит от времени, налагаемых сил в данный момент, положения модели тела, а также от прилегания одежды к телу.

Перед выводом результата анимации на экран, производятся необходимые предварительные вычисления, которые в дальнейшем позволят модели одежды двигаться без заминок и задержек. К таким вычислениям относятся:

- разделение одежды на участки;
- перенос анимации для близко прилегающих участков;
- построение модели масс и пружин.

4.7 Визуализация

Полученные результаты моделирования анимации одежды визуализируются с помощью технологии DirectX. Загруженная модель тела уже имеет анимацию, а модель одежды анимируется в реальном времени.

При выводе результата анимации на экран, программа производит следующие вычисления:

- вычисление анимации тела и анимации участков одежды с близко прилегающими полигонами посредством использования скелетной анимации;
- создание новых объектов столкновений;
- моделирование новых положений точек в системе масс и пружин;
- проверка столкновений системы масс и пружин с объектами столкновений и моделирование выталкивающих сил;
- визуализация полученного результата.

5. Эксперименты

Для проверки работы средства анимации одежды в реальном времени было проведено несколько экспериментов.

5.1 Составляющие эксперимента

1. Модель человеческого тела с анимацией в .X формате(7000 полигонов, 4500 вершин).
2. Модель одежды без анимации в .X формате(1500 полигонов, 1000 вершин).
3. DirectX SDK 10.
4. Среда выполнения для языка C++ (Microsoft Visual Studio 2013).
5. Графический редактор 3ds Max 2010.
6. Экспортер из 3ds Max в .X файлы (AXE v1.9.8).
7. Процессор: Intel Core i5-3210M CPU 2.50 GHz x64
8. Видеокарта: AMD Radeon HD 7600M, частота - 900 МГц, разрядность шины - 128 Бит

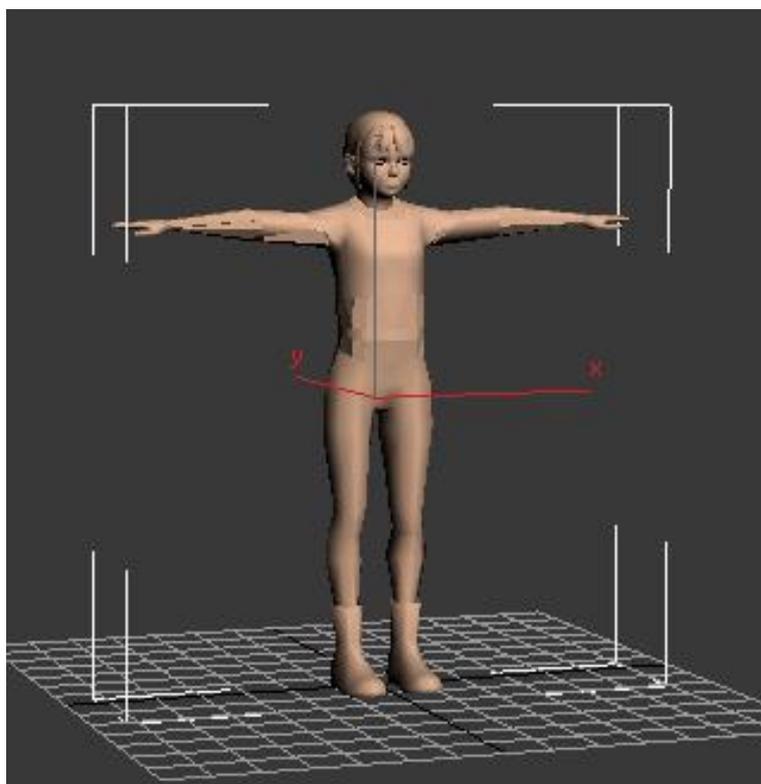


Рис.10. Модель тела

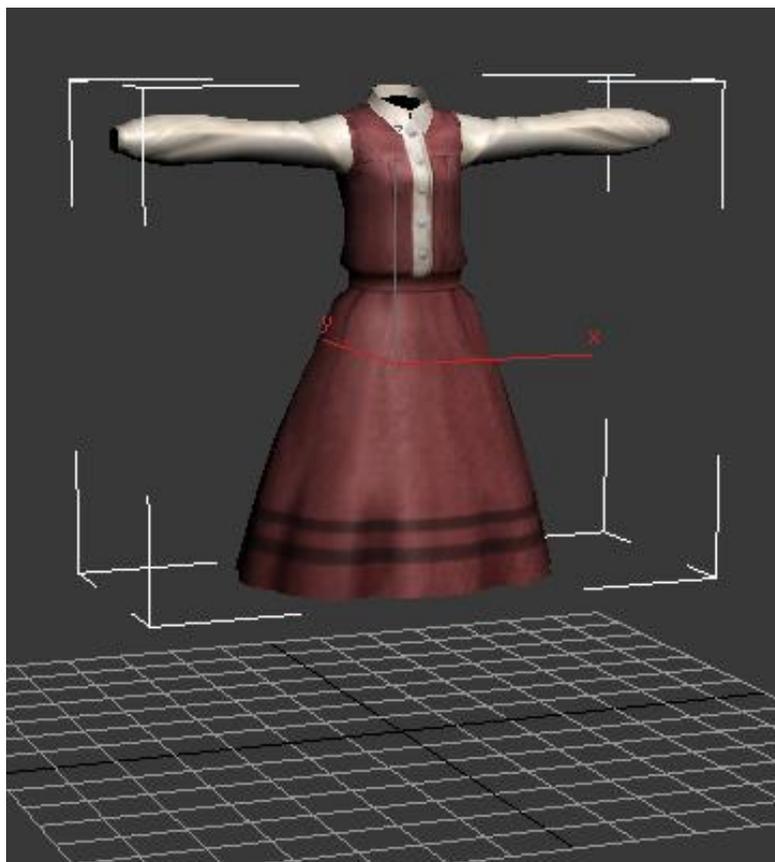


Рис.11. Модель одежды

5.2 Результаты эксперимента

В ходе эксперимента были получены следующие результаты.

1. Время обсчета одного кадра - 0.1 мс.
2. Вычислительная сложность алгоритма создания анимации для близко прилегающих участков одежды - $O(n^2)$, где n – количество вершин модели.
3. Вычислительная сложность алгоритма создания анимации для свободно прилегающих участков одежды - $O(n^3)$, где n – количество вершин модели.
4. Высокая степень параллелизма алгоритма.

Вычислительная сложность алгоритма создания анимации для близко прилегающих участков ткани обусловлена нахождением ближайших вершин на модели тела для каждой точки одежды.

Вычислительная сложность алгоритма создания анимации для свободно прилегающих участков одежды обусловлена тем, что для каждой точки одежды

рассчитываются силы, действующие на точку, и происходит проверка на столкновение с каждым возможным объектом столкновений. Если происходит столкновение, для точки рассчитываются дополнительные выталкивающие силы.

Степень параллелизма данного алгоритма высока, поскольку вычисления для разных фрагментов одежды можно производить одновременно.

Для свободно прилегающих участков одежды система масс и пружин должна рассчитываться последовательно, поскольку движение точек влияет на поведение связанных с ними пружинами вершин.

Для близко прилегающих участков одежды последовательность вычисления положения вершин не важна.

Также стоит отметить затраты памяти на новые структуры данных.

1. Массив точек для системы масс и пружин – $5*n/2$, где n – количество вершин модели.
2. Список пружин для системы масс и пружин – $4*n/2$, где n – количество вершин модели.
3. Система масс и пружин – $2*n$, где n – количество вершин модели.

Первое число в оценке затрат памяти на новые структуры – количество новых полей. Деление на 2 в первых двух случаях обусловлено тем, что количество вершин для системы масс и пружин примерно равно половине от всех вершин модели.

6. Заключение

Результаты, полученные в ходе реализации алгоритма, говорят о перспективности полученной разработки для практики и дальнейших научных изысканий. Были выполнены следующие задачи.

1. Изучены существующие способы анимации одежды, в том числе с использованием графических редакторов и методов анимации одежды в реальном времени.
2. Изучена технология DirectX 9.
3. Создан алгоритм анимации одежды в реальном времени с учетом динамической анимации тела.
4. Реализован программный модуль анимации одежды на основе созданного алгоритма (C++), благодаря которому одежда должна выглядеть естественно и двигаться согласно физическим законам.

В ходе реализации данного средства анимации одежды были получены следующие результаты выполнения программы.

1. Выполнение программы требует малые затраты на время и память. Время обсчета одного кадра составляет 0.1мс.
2. Алгоритм легко адаптируется к выполнению в несколько потоков, поскольку большинство вычислений могут выполняться параллельно.

7. Список литературы

1. *Baraff D., Witkin A.* Large Steps in Cloth Simulation // COMPUTER GRAPHICS Proceedings (SIGGRAPH 98), Annual Conference Series. 1998. P.43-54.
2. *Cordier F., Magnenat-Thalmann N.* Context-Specific Cloth Simulation // Simulation of Clothes for Real-time Applications. INRIA. 2004. P. 69-81.
3. *Kavan L., Gerszewski D., Bargteil A.W., Sloan P.P.* Physics-Inspired Upsampling for Cloth Simulation in Games // COMPUTER GRAPHICS Proceedings (SIGGRAPH 11), Annual Conference Series. 2011. P.1-9.
4. *Адамс Д.* DirectX. Продвинутая анимация. М.:КУДИЦ-ОБРАЗ. 2004. 480 с.
5. *Фленов М.Е.* Искусство программирования игр на C++. СПб.:БХВ-Петербург. 2006. 256 с.
6. Braynzar Soft. <http://www.braynzarsoft.net/>
7. PandaSoft DirectX Exporter. <http://www.andytather.co.uk/panda/directxmax.aspx>
8. The Ultimate DirectX Tutorial, 2006-2014. <http://www.directxtutorial.com/>

8.Результаты

Ниже предоставлены некоторые результаты работы реализованного в рамках данной работы средства анимации одежды в реальном времени.

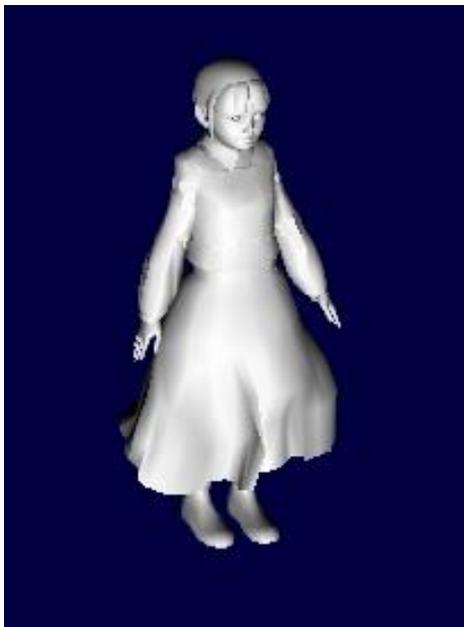


Рис 12. Анимация одежды без наличия сторонних сил



Рис. 13. Анимация одежды с наличием слабого ветра

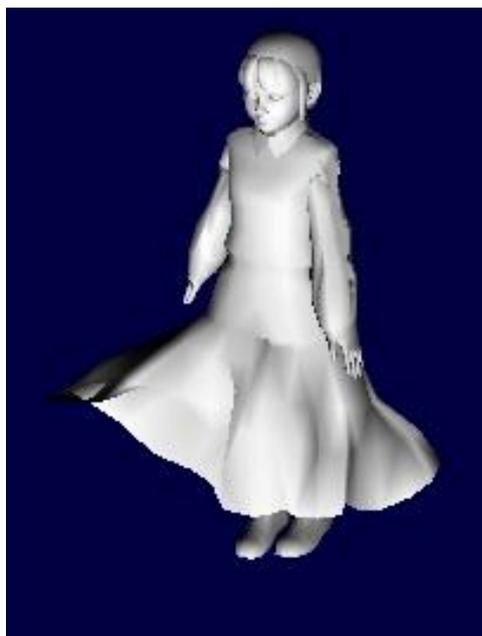


Рис. 14. Анимация одежды с наличием сильного ветра