

Об одном подходе к визуализации тканей

Алексей Волобой, Владимир Галактионов, Надежда Гнездилова, Кирилл Дмитриев, Сергей Ершов
Институт Прикладной Математики имени М.В. Келдыша РАН,
Москва, Россия

Аннотация

В статье описывается один из подходов к визуализации ткани, основанный на моделировании освещенности. Освещенность ткани рассчитывается с учетом рассеяния света поверхностями и объемами нитей, ее образующих. Также принимается во внимание структура переплетения нитей, которая позволяет определить тени и свет, отбрасываемые одними нитями на другие. При расчете теней и объемного рассеяния света учитываются оптические характеристики материала, из которого состоит нить. Поверхностное рассеяние света нитью аппроксимируется по формуле Фонга. Полученный метод позволяет получать внешний вид тканей с учетом реальных оптических характеристик нитей разного типа (хлопковые, шелковые и др.).

***Ключевые слова:** моделирование тканей, расчет освещенности, оптические свойства нитей, функция внутреннего рассеивания света, переотражение света, реалистичная визуализация.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача реалистичного моделирования и визуализации текстильных материалов является одной из традиционных в компьютерной графике. Решение этой задачи актуально для приложений виртуальной реальности, дизайна интерьеров, компьютерного моделирования одежды и новых текстильных материалов (в том числе тканей и трикотажа).

Для реалистичной визуализации материала зачастую бывает необходимо решить две независимые подзадачи: моделирования освещенности текстильного материала и моделирования его физических деформаций. Моделирование освещенности материала может производиться с учетом или без учета оптических свойств образующих его нитей. При моделировании деформаций учитывается влияние на материал внешних и внутренних сил (таких как сил гравитации, натяжения, и др.), а также его взаимодействие с другими объектами (например, при расположении одежды на манекене).

В данной статье не рассматриваются вопросы моделирования физических деформаций материалов. Работа посвящена моделированию внешнего вида тканей (изделий, образованных путем переплетения продольных и поперечных нитей), основанному на расчете освещенности и распространении света между нитями и внутри них. Моделирование освещенности ткани учитывает оптические свойства и взаимное расположение образующих нитей таким образом, чтобы реалистично продемонстрировать ее фактуру, формируемую переплетением нитей, их микроструктурой, тенями, отбрасываемыми одними нитями на другие, и т.д.

В большинстве работ, посвященных моделированию внешнего вида тканей, результатом моделирования является двунаправленная функция отражения (ДФО). Эта функция описывает оптические свойства поверхности (ткани) в зависимости от угла освещения и угла наблюдения. В работах [1, 2] производится расчет ДФО нитей на основании предположения о гладкости их поверхности и применения закона Френеля. В работах [3, 4] ДФО нити и ткани вычисляются, основываясь на информации о структуре переплетения и микроструктуре нитей. При этом не учитываются оптические свойства нитей. Попытка расчета ДФО ткани также описана в [5].

В данной работе предлагается производить расчет освещенности ткани с учетом оптических свойств образующих ее нитей, а также на основании информации об их переплетении. Отличительной особенностью предлагаемого решения является учет рассеяния света внутренним объемом нити. Такое рассеяние может давать существенный вклад в освещенность нити и ткани в целом [6]. Расчет рассеяния света объемом нити производится с помощью трассировки лучей методом Монте-Карло.

2. ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТКАНЕЙ

Нужно отметить, что вид ткани обуславливается переплетением образующих ее нитей, физической микроструктурой нитей и их оптическими свойствами. Микроструктура нити определяется ее радиусом, количеством волокон, из которых она состоит, направлением и коэффициентом кручения, наличием или отсутствием вокруг нее пуха и другими подобными факторами. Оптические свойства определяются материалом, из которого состоит нить (хлопковые волокна, шелковые, и др.).

Таким образом, при моделировании ткани необходимо произвести:

- 1) Задание структуры переплетения нитей
- 2) Моделирование микроструктуры нитей
- 3) Моделирование взаимодействия света с нитями, образующими ткань, с учетом их оптических свойств, что подразделяется на:
 - a. моделирование рассеяния света поверхностью и объемом нитей
 - b. моделирование теней, отбрасываемых нитями друг на друга
 - c. моделирование света, отраженного одними нитями на другие

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТКАНИ И НИТЕЙ

В разработанном решении задание переплетения нитей происходит с помощью набора контрольных точек. Для каждой нити указывается путь, по которому она проходит, «опираясь» на соответствующие контрольные точки.

Как уже отмечалось, микроструктура нити определяется рядом параметров, в том числе количеством волокон, кручением, густотой пуха. В нашем решении нить геометрически моделируется с помощью гладкого цилиндра, а для отдельных волокон, кручения и пуха явного геометрического моделирования не производится. Данные параметры могут учитываться дополнительно при выборе функции поверхностного рассеяния света нитью (см. п. 4.5).

Цилиндр, представляющий нить, математически описывается его радиусом и формой бесконечно тонкой кривой, являющейся его центральной осью. Как уже упоминалось, структура переплетения нитей определяется с помощью набора контрольных точек, и, таким образом, форма центральной оси цилиндра задается на основании информации о переплетении нитей. Радиус нити указывается исходя из реальных физических данных.

Для визуализации ткани в нашем решении необходимо производить триангуляцию нити.

3.1 Триангуляция нити

Триангуляция нити производится следующим образом: по контрольным точкам, которые определяют путь нити, выполняется кубическая сплайн-интерполяция. Полученная функция-интерполянт вычисляется на некотором заданном количестве промежуточных точек, которое дает достаточное приближение гладкой поверхности нити. Вокруг всех полученных контрольных точек строятся многоугольники (в нашем решении шестиугольники). Соседние многоугольники объединяются в многогранник, каждая грань которого разбивается на два треугольника. Триангуляция нити проиллюстрирована на рис. 1.

Сплайн-интерполяция используется для придания нити большей гладкости при сохранении возможности определить переплетение сравнительно небольшим количеством контрольных точек. Для придания большей визуальной гладкости нити используется фонговская интерполяция нормалей [10].

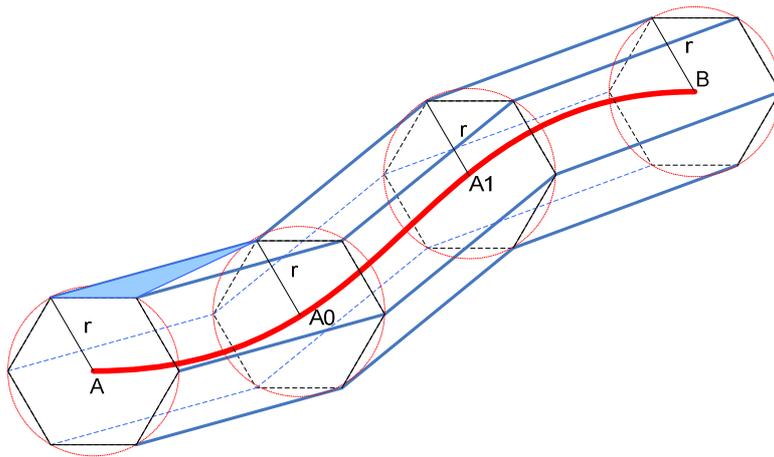


Рис. 1. Триангуляция нити. Точки A и B – контрольные точки переплетения, точки A0 и A1 – точки, полученные в результате интерполяции контрольных точек, r – радиус нити. Заливкой цветом отмечен один из полученных треугольников.

3.2 Параметризация нити

Для построения модели освещенности производится параметризация нити.

Для параметризации вводятся два параметра – u и v. Параметр u определяет положение точки на поверхности нити по образующей цилиндра окружности и меняется от 0 до 1, а v определяет положение точки на поверхности по длине цилиндра и меняется от 0 до length, где length – сумма длин всех линейных сегментов, образующих траекторию нити с учетом проведенной сплайн интерполяции. В разработанном решении все вычисления для моделирования освещенности нити производятся на дискретной сетке, заданной через параметры u и v, как показано на рис. 2.

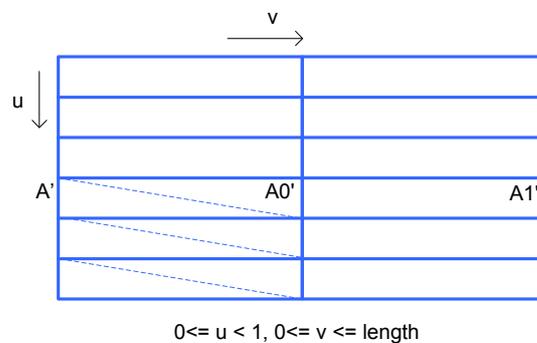


Рис. 2. Параметризация нити. u, v – параметры, определяющие положение точки на окружности, образующей цилиндр, и длине нити соответственно, A', A0' и A1' соответствуют точкам A, A0 и A1 на поверхности цилиндра.

Таким образом, каждой точке на поверхности нити сопоставлены значения (u, v). Помимо этого, при расчете освещенности ткани каждой точке может быть сопоставлена сферическая система координат с началом координат в этой точке, оси x, направленной вдоль центральной оси нити, и z, направленной от нити.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ ТКАНИ

4.1 Расчет оптических свойств нитей

Для расчета оптических свойств нити она представляется в виде цилиндра, заполненного рассеивающей средой. Рассеивающая среда в нашей реализации характеризуется изотропной функцией рассеяния.

Для представления оптических свойств объектов в компьютерной графике часто используется двунаправленная функция отражения (ДФО) или BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) в английской мнемонике (рис. 3). ДФО является характеристикой поверхности объекта и определяет закон, по которому происходит поверхностное рассеяние света. А именно для некоторого направления падения света r_l (ray light) ДФО задает какая часть света, падающего на точку p_l (point light), отразится в некотором выходном направлении r_v (ray view). Таким образом, ДФО является функцией трех параметров – r_l , p_l и r_v .

Более сложной функцией, характеризующей объект, является функция внутреннего рассеяния (ФВР, рис. 3), которая определяет взаимодействие света не только с его поверхностью, но и с его внутренним объемом [7]. При падении света на поверхность, часть света отражается, а часть преломляется и проникает внутрь объекта. При этом часть преломленного света может поглотиться, а часть, в результате множественного внутреннего рассеяния, может снова выйти на поверхность. ФВР задает какая часть света, падающего с направления r_l на точку на поверхности p_l отразится в направлении r_v с точки p_v , в общем случае не равной точке p_l . Таким образом, ФВР является функцией четырех параметров – r_l , p_l и r_v , p_v .

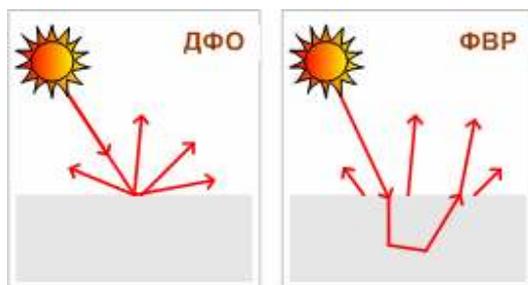


Рис 3. Двунаправленная функция отражения и функция внутреннего рассеяния.

Для большинства нитей характерно, что вклад в их яркость дает не только свет, отраженный с поверхности, но также и из объема. Поэтому для моделирования освещенности нити предлагается производить расчет ФВР и использовать полученные данные для учета вклада в ее яркость от света, отраженного из ее объема.

Для расчета ФВР нити производится моделирование рассеяния света внутренним объемом нити с помощью трассировки лучей методом Монте-Карло [8]. На дискретной сетке, заданной параметрами u и v , рассчитывается ФВР для дискретного набора направлений падения и отражения света, заданных в сферической системе координат, соотнесенной с точкой на поверхности нити. Таким образом, ФВР является сеточной функцией дискретных параметров $\varphi_l, \theta_l, \varphi_v, \theta_v, u_v, v_v$.

При расчете ФВР было сделано несколько допущений:

- 1) ФВР не зависит от формы нити. Поэтому в нашем решении ФВР рассчитывается на прямой нити.
- 2) Из соображений симметрии ФВР рассчитывается только для одной точки на поверхности нити.

Для получения ФВР трассируется большое количество фотонов для каждого из направлений падения, взятых на фиксированной сетке. По нашему мнению наиболее приемлемой является сетка с размерностью около 400 точек. Поэтому в предлагаемом решении берется сетка с размерностью 16x16 по углам θ_l и φ_l

соответственно. Поведение фотона внутри нити определяется функцией рассеяния материала, заполняющего нить. Для каждого фотона регистрируется точка и направление его выхода из нити. Для представления на сетке точка и направление выхода также дискретизируются. По окончании вычислений в нашем распоряжении имеется Монте-Карло аппроксимация шестимерной функции внутреннего рассеяния нити:

$$F(\varphi_l, \theta_l, \varphi_v, \theta_v, u_v, v_v),$$

где φ_l, θ_l – задают направление освещения, φ_v, θ_v – направления выхода луча, и u_v, v_v – координаты на дискретной сетке точки выхода луча (рис. 4).

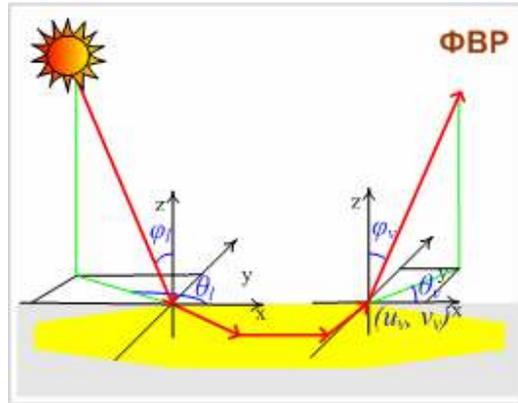


Рис 4. Система координат функции внутреннего рассеяния.

4.2 Вычисление яркости точки нити

Одним из стандартных методов оптимизации вычислений при моделировании распространения света является разделение освещения на компоненты прямого (первичного) освещения и непрямого (вторичного) освещения.

Этот подход используется и в разработанном решении. В яркость точки нити дают вклад следующие компоненты, полученные от прямого и непрямого освещений:

- От прямого освещения:
 - диффузное и зеркальное отражения с ее поверхности. Назовем эту компоненту L_1 . Компонента L_1 – это та часть энергии пучка света, которая отражается от нити и непосредственно участвует в формировании изображения.
- От непрямого освещения:
 - свет, который попадает на точку на поверхности нити от соседних точек той же нити в результате эффекта множественного рассеяния внутри нити. Назовем эту компоненту L_2 ;
 - свет, который попадает на точку на поверхности нити в результате отражения от соседних нитей. Назовем эту компоненту L_3 ;

Если первая компонента яркости зависит только от света, непосредственно попадающего в точку на поверхности, то другие две компоненты зависят от освещенности других точек поверхности этой нити или соседних нитей соответственно.

Кроме того, при вычислении компонент яркости в нашем решении учитывается затухание света в случае его прохождения через соседние нити. Это производится посредством использования теневой маски, которая вычисляется на основании значений фактора ослабления света.

Отдельно стоит отметить, что каждая из компонент имеет определенные особенности, которые позволяют сделать оптимизирующие приближения при ее вычислении, не допустимые при вычислении других компонент.

4.3 Фактор ослабления света

Для вычисления фактора ослабления света требуется протрассировать луч из точки на поверхности нити к источнику света. Луч может пересекать другие нити ткани, которые являются рассеивающей средой. В нашем решении при расчете фактора ослабления света предполагается, что луч проходит через нить по прямой линии от точки входа до точки выхода из нити. Обозначим L – суммарное расстояние, которое луч прошел внутри нитей плетения. Тогда согласно [9]:

$$G(r_l) = \exp(-L\tau), \quad (1)$$

где G – это фактор ослабления света, r_l - направление освещения, а τ – коэффициент, показывающий оптическую плотность материала нити.

4.4 Теневая маска

Теневая маска – это сеточная функция, заданная на поверхности нити. Обозначим ее, как $S(u, v)$, где u и v – координаты точки. Теневая маска в точке на поверхности нити хранит значение, показывающее какая часть энергии, покидающей источник света, достигает этой точки.

Для расчета значений теневой маски необходимо для каждой точки на сетке протрассировать луч из этой точки к источнику света и в соответствии с геометрическим фактором ослабления света (1) учесть ослабление этого луча внутри каждой нити, которую он пересекает. Полученное значение интенсивности света сохраняется как значение теневой маски.

4.5 Вычисление компоненты L_1

Компоненту L_1 будем вычислять с помощью известной в компьютерной графике формулы Фонга [10]:

$$L_1(r_l, r_v) = G(r_l)[K_d(r_l, n) + K_s(r_r, r_v)^c],$$

где r_l и r_v – направления освещения и наблюдения соответственно, r_r - направление зеркально отраженного луча, n - нормаль в данной точке, $G(r_l)$ – геометрический фактор, который показывает, насколько свет ослабляется, пройдя от источника света до данной точки на поверхности нити, K_d и K_s – коэффициенты, характеризующие соответственно диффузную и глянцевую компоненты рассеивания поверхности, а c – коэффициент, определяющий степень глянцевого.

Как уже отмечалось, выбор функции, определяющей поверхностное рассеяние света, зависит от моделируемых особенностей нити, таких, например, как ее кручение. Фонговская функция определяет эмпирический закон рассеяния света изотропной поверхностью без учета френелевских коэффициентов. В дальнейшем планируется разработка и использование модели поверхностного рассеяния света, которая бы учитывала анизотропную природу нити и френелевские коэффициенты, ее характеризующие.

4.6 Вычисление компоненты L_2

Компонента L_2 представляет собой свет, который попадает на точку поверхности нити от соседних точек той же нити, в результате рассеяния света ее объемом. Компонента L_2 – это четырехмерная сеточная функция, зависящая от направления падения света и координаты на поверхности нити. Сетка совпадает с сеткой, используемой для вычисления теневой маски.

Значение L_2 в точке на поверхности нити – это сумма по всем значениями теневой маски для соседних точек, помноженная на значение ФВР, соответствующее этой точке, если рассматривать ее, как принадлежащую окрестности соседних точек. L_2 рассчитывается следующим образом:

$$L_2(r_l, r_v, u_v, v_v) = \sum_{k=0}^{N_u-1} \sum_{j=0}^{N_v-1} F(r_l, r_v, u_v', v_v') S(u(k), v(j)), \quad (2)$$

где $F(r_l, r_v, u_v', v_v')$ значение ФВР при падении света с направления r_l на точку из окрестности текущей точки u_v, v_v , заданную координатами $u(k), v(j)$ и выходе света в направлении r_v из текущей точки u_v, v_v , координаты u_v', v_v' , задают точку u_v, v_v относительно точки $u(k), v(j)$, $S(u(k), v(j))$ – значение теневой маски в точке $u(k), v(j)$, k и j пробегает значения от 0 до $N_u - 1$ и $N_v - 1$ соответственно, где $N_u - 1, N_v - 1$ размерность сетки, заданной на поверхности нити путем дискретизации координат u и v .

4.7 Вычисление компоненты L_3

Третья компонента освещения описывает переотражение света между соседними нитями. Она играет значительную роль при визуализации текстильных материалов, содержащих нити различных цветов, так как отвечает за моделирование эффекта перетекания цвета от одной нити к другой.

При вычислении третьей компоненты моделируется распространение света от точки на поверхности нити до точек соседних нитей. Вычисляется яркость этих точек с учетом произвольного расположения источника света. При вычислении яркости оригинальной точки нити учитывается яркость точек соседних нитей, от которых отраженный свет попадает на оригинальную точку при заданном положении источника света.

Компонента L_3 – это шестимерная сеточная функция, зависящая от направления падения света, положения наблюдателя и координаты на поверхности нити. Сетка совпадает с сеткой, используемой для вычисления теневой маски.

Более подробно вычисление компоненты L_3 описано в [11].

5. РЕАЛИЗАЦИЯ

5.1 Предварительные вычисления

Часть вычислений, производимых при моделировании и визуализации ткани, требует значительного количества расчетного времени. В связи с этим в разработанном решении некоторые вычисления производятся заранее – т.е. до интерактивной визуализации материала. Ниже перечислено, какие части предлагаемого решения требуют предварительных вычислений, а какие производятся во время генерации изображения:

- Функция внутреннего рассеивания рассчитывается заранее и сохраняется в виде многомерной сеточной функции. Использование рассчитанной заранее функции позволяет значительно ускорить вычисления, так как исчезает необходимость трассировать лучи внутри нитей, и можно сразу преобразовывать входной луч в выходной.
- Расчет компоненты освещенности L_1 не сложен, не требует больших вычислений, и может быть произведен для каждой точки во время генерации изображения. Незначительных накладных расходов требует только вычисление фактора ослабления света $G(\bar{r}_l)$.
- Вычисление компонент L_2 и L_3 требует существенных затрат, поэтому делать это во время генерации изображения накладно. В нашей реализации эти компоненты предварительно рассчитываются для всех возможных положений источника света и наблюдателя и хранятся в виде сеточных функций. Уже подготовленные значения суммируются как вклады в яркость точки на поверхности нити при генерации изображения.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 5 представлены полученные изображения материала, состоящего из нитей двух цветов – красного и зеленого. Материал показан при разных условиях освещения и при разных положениях наблюдателя. Рис. 5-а и 5-с представляют собой текстильный материал, освещенный солнечным светом в 12 часов дня, Рис. 5-б и 5-г – материал, освещенный солнечным светом в 17 часов.

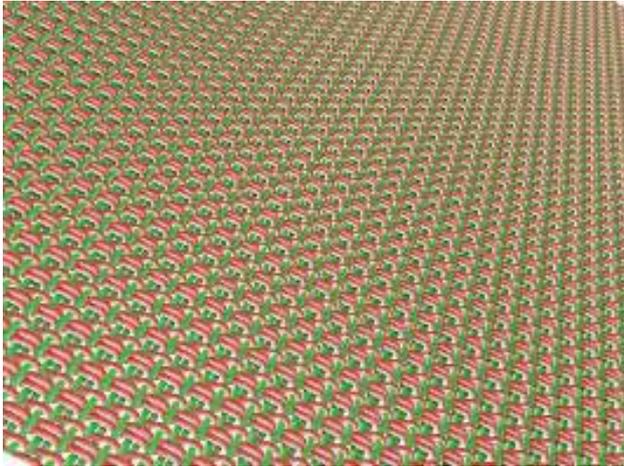


Рис. 5-а

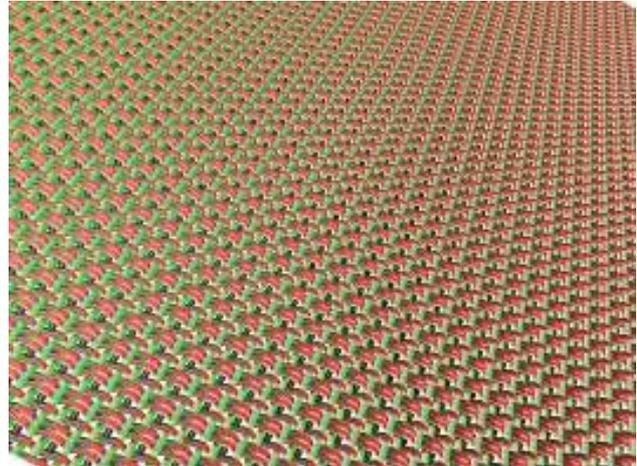


Рис. 5-б

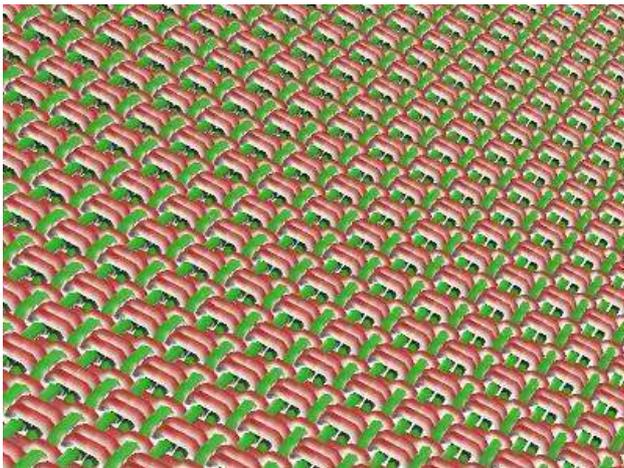


Рис. 5-в

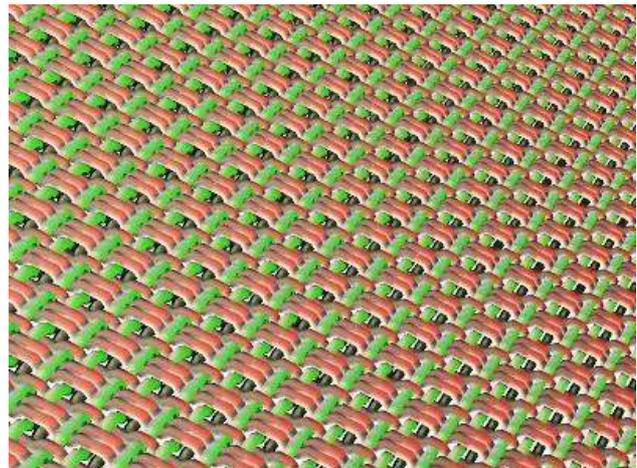


Рис. 5-г

Рис. 5. Материал, освещенный солнечным светом в разное время дня: 5-а и 5-с в 12 часов дня, 5-б и 5-г в 17 часов.

Описанное решение было реализовано в виде расширяемой библиотеки классов на языке C++. Архитектура решения позволяет визуализировать материал с произвольными толщиной, формой и цветом нитей, с нитями из любого материала.

На начальном этапе разработки была использована модель материала с простым переплетением нитей, состоящих из материала с однородной плотностью и изотропной функцией рассеяния. Генерация изображений, представленных на рис. 5, производилась с помощью системы визуализации, разработанной коллективом [12]. Изображение генерируется методом трассировки лучей. При

попадании луча на объект, покрытый тканью, алгоритм генерации изображения запрашивает вычисление ее цвета в разработанной библиотеке классов.

Время предварительного расчета составило около 7 минут для процессора Intel Pentium III, 1.1 GHz для сцены, состоящей из 40 нитей (на приведенных рисунках произведено текстурирование плоской поверхности изображением образца ткани). После этого генерация изображений не требует дополнительных затрат по сравнению со стандартной обратной трассировкой лучей. Генерация изображений занимает около 30 секунд. Затраты памяти для хранения предварительно рассчитанных данных для данного типа материала составляют около 100 мегабайт.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе приведено описание расчета освещенности ткани с учетом оптических свойств образующих ее нитей. На текущий момент, коэффициенты, используемые при моделировании, задавались с большой степенью произвольности. В качестве следующего шага работы планируется задание реальных оптических коэффициентов для конкретных тканей (хлопковых, шелковых, др.).

Как уже отмечалось в статье ранее, еще одним важным шагом является разработка и использование более подходящей модели поверхностного рассеяния света, которая бы учитывала анизотропный характер нити.

В дальнейшем также планируется произвести верификацию метода путем сравнения полученных результатов освещенности ткани с реальными физическими измерениями, произведенными на установке [13].

Работа была поддержана РФФИ, грант 04-01-00520, а также компанией Integra Inc. (Япония).

Версия статьи с цветными иллюстрациями размещена по адресу http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/publications/cgd_publ.htm.

8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Vladimir Volevich, Andrei Khodulev, Edward Kopylov, Olga Karpenko. An Approach to Cloth Synthesis and Visualization // The 7-th International Conference on Computer Graphics and Visualization, Moscow, Russia, May 21-24, 1997, pp.45-49.
- [2] Ilia Bogaevski, Edward Kopylov, Andrei Khodulev. An Implicit Approach to Cloth Synthesis // The 9-th International Conference on Computer Graphics and Vision, Moscow, Russia, August 26 - September 1, 1999, pp.117-120.
- [3] N. Adabala, N. Magnenat-Thalmann, G. Fei, Real-time Rendering of Woven Cloth // Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, 2003, pp. 41-47.
- [4] Y.-Q. Xu, Y. Chen, S. Lin, H. Zhong, E. Wu, B. Guo, H.-Y. Shum. Photorealistic rendering of knitwear using the lumislice // SIGGRAPH '01 Conference Proceedings, 2001, pp. 391-398.
- [5] C. Wynn, An Introduction to BRDF-Based Lighting, NVIDIA Corporation, 2000.
- [6] В.В. Яковлев, Оптические свойства хлопкового волокна // В сборн. «Физические исследования по хлопку», Изд. Академии Наук УзССР, 1962.
- [7] P. Hanrahan, W. Krueger, Reflection from Layered Surfaces due to Subsurface Scattering // SIGGRAPH '93 Conference Proceedings, 1993, pp. 165-174.
- [8] А.Г. Волобой, В.А. Галактионов, К.А. Дмитриев, Э.А. Копылов, Двухнаправленная трассировка лучей для интегрирования освещенности методом квази- Монте Карло // "Программирование", № 5, 2004, стр. 25-34.
- [9] R.V. Klassen. Modeling the Effect of the Atmosphere on Light // ACM Transactions on Graphics, vol. 6, № 3, 1987, pp.215-237.

[10] B.T. Phong. Illumination for computer generated pictures // Communications of the ACM, vol. 18, № 5, 1975, pp. 311-317.

[11] Б.Х. Барладян, В.А. Галактионов, Н.А. Гнездилова, К.А. Дмитриев, С.В. Ершов, Моделирование освещенности в тканях с четкой фактурой нити. Труды 16-ой Международной конференции по компьютерной графике и ее приложениям – Графикон-2006, Новосибирск, 2006, стр. 104-111.

[12] А.Г. Волобой, В.А. Галактионов Машинная графика в задачах автоматизированного проектирования // «Информационные технологии в проектировании и производстве», № 1, 2006, стр. 64-73.

[13] А.Г. Волобой, В.А. Галактионов, С.В. Ершов, А.А. Летунов, И.С. Потемин. Аппаратно-программный комплекс для измерения светорассеивающих свойств поверхностей // "Информационные технологии и вычислительные системы", № 4, 2006, с.24-39.

Об авторах

Алексей Геннадьевич Волобой – кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. E-mail: voloboy@gin.keldysh.ru.

Владимир Александрович Галактионов – доктор физ.-мат. наук, заведующий отделом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. E-mail: avg@gin.keldysh.ru.

Надежда Александровна Гнездилова – аспирант ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. E-mail: ngnездilova@yandex.ru.

Кирилл Александрович Дмитриев – кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник НТВЦ ИПМ.

Сергей Валентинович Ершов – кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Abstract

The paper presents one of the approaches to simulate illumination of cloth. The approach accounts for the scattering of light by the surface and volume of yarns that make up the cloth. As well the weaving pattern that is determinant for the shadows cast and light inter-reflected by adjacent yarns is taken into consideration. Calculation of shadows and volume scattering of light is performed with the account for optical characteristics of the yarn's material. The surface scattering of light is approximated by the Phong formula. As a result the proposed method is available for additional tuning with the values of the real optical characteristics of different cloths (cotton, silk, etc).

About the authors

Alexey Voloboy – Ph.D., senior researcher of the Keldysh Institute for Applied Mathematics RAS. E-mail: voloboy@gin.keldysh.ru.

Vladimir Galaktionov – Ph.D., head of department of the Keldysh Institute for Applied Mathematics RAS. E-mail: avg@gin.keldysh.ru.

Nadezhda Gnezdilova – Ph.D. student at the Keldysh Institute for Applied Mathematics RAS. E-mail: ngnездilova@yandex.ru

Kirill Dmitriev – Ph.D., senior research scientist of Scientific-Technical Centre of the Keldysh Institute for Applied Mathematics.

Sergey Ershov – Ph.D., senior researcher of the Keldysh Institute for Applied Mathematics RAS.