

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕМНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены основные методы оптимизации визуализации объемных данных для медицинских приложений

Ключевые слова: рендеринг, трехмерная визуализация, воксель

S.I. VYATKIN

Institute of Automation and Electrometry SB RAS

S.V. PAVLOV, S.A. ROMANUYK

Vinnitsa national technical university

OPTIMIZATION OF VOLUMETRIC DATA VISUALIZATION TECHNIQUES FOR MEDICAL APPLICATIONS

Principles of construction of the direct digital frequency synthesizer with phase core-based adder in the Galois basis was discussed. The mathematical model and the structure of specialized structural units of direct digital frequency synthesizers based on modular arithmetic was discussed.

Keywords: Galois field, modular arithmetic, direct frequency synthesizer (DDS).

Постановка задачи

С появлением систем виртуальной реальности, в которых наблюдатель погружается в мир модели, возникает потребность визуализации виртуальной среды, максимально приближенной к тому, что человек наблюдает в естественных условиях. Для этого требуются мощные системы. Все более широкое распространение получают сегодня методы визуализации внутренних структур объектов на основе данных томографических исследований. Эти методы компьютерной графики называются визуализацией объема. Высокая трудоемкость методов ограничивает их применение в системах реального времени, что предполагает разработку новых решений.

Анализ исследований и публикаций

Одной из наиболее сложных компьютерных задач является отображение объемных (трехмерных) расчётных данных, или экспериментальных данных, полученных трехмерными методами сканирования. Методы сканирования, результатом которых являются объемные данные, включают магнитный резонанс (MRI), компьютерную томографию (СТ), ультразвук и т.д.

Объемные данные - это трехмерный массив кубических элементов (вокселей), представляющих единицы 3D пространства. При этом типичные наборы данных, описывающие физические объекты или явления, как правило, представлены файлами объёмом до нескольких гигабайт, т.к. эти файлы содержат данные о каждой точке сканируемого трехмерного пространства.

Объемная визуализация (рендеринг) – процесс преобразования объемных данных, после предварительной обработки, в двухмерное изображение, которое может быть показано на компьютерном экране, представляя объект или явление реалистичным образом, наглядно передавая их внутреннюю структуру.

Вычислительная мощность, требуемая для визуализации объемных данных, очень большая, но настолько, же значимы и выгоды от некоторых потенциальных приложений, базирующихся на этом подходе. Например, моделирование хирургических операций на виртуальном пациенте. Вначале пациент "оцифровывается" с помощью перечисленных выше методов. Затем можно спланировать, отрепетировать и построить альтернативный план хирургической операции на цифровой модели в безопасной виртуальной среде. При этом взаимодействие в реальном времени является наиболее существенным требованием - врач предпочтет оперировать в интерактивной среде, даже если она изображается не слишком реалистично [1, 2].

Основные задачи создания полноценных инструментов объемной визуализации данных – рациональное использование доступных вычислительных мощностей для обработки данных в трех и более измерениях, а также разработка эффективных алгоритмов визуализации.

На сегодня реализация алгоритмов генерации изображений, использующих полигональное представление [3] объектов сцены, происходит с помощью аппаратной поддержки, ставшей в последнее время доступной практически любому пользователю, что повышает быстродействие "графической" части программ в сотни раз. Разработка приложений с использованием стандартных библиотек OpenGL и DirectX позволяет применять широкие возможности акселераторов в самых различных областях компьютерной графики.

В то же время полигональный подход [3] оказывается неэффективным для ряда специфических задач, а именно предоставления внутренней структуры объемных данных. В простейшем случае при объемной визуализации необходимо обойти весь объем, рассматривая каждый воксель как 3D точку,

которая преобразуется в зависимости от положения наблюдателя, затем проецируется в Z-буфер и отображается на экране. Такой способ визуализации называют рендерингом в объектном пространстве (object-space rendering) или рендерингом прямого хода (forward rendering). Необходимо отметить, что, в чистом виде, этот метод не обеспечивает визуализацию полупрозрачных материалов, так как воксели отображаются на экран в произвольном порядке. Расчет освещенности служит для определения цвета вокселя на основе некоторых классификационных и передаточных функций. А также моделей освещенности [3], которые варьируются от простейших (пороговое отсечение, за которым следует выборка цвета по таблице и закраска с учетом глубины) до наиболее сложных (сегментация с последующим применением специальной передаточной функции, учитывающей рассеивание).

В отличие от методов визуализации объема прямого хода, методы, использующих обратный ход, основаны на отбрасывании лучей, которые при этом испускаются из каждого пикселя экрана. Прохождение луча через объемные данные отслеживается до тех пор, пока он не пересечет непрозрачный объект или не накопится критическое значение величины непрозрачности [2].

Анализ трудоемкости

В обоих методах расчет освещенности и вычисление положения вокселя на финальном изображении, являются наиболее трудоемкими операциями, выполняемыми для каждого вокселя.

Допустим, что производится визуализация объема из $N * N * N$ вокселей. Предположим также, что используется метод рендеринга прямого хода (BTF).

Для каждого вокселя нужно:

применить преобразование, связанное с положением наблюдателя, что требует умножения координат в среднем на 6 матриц:

положения в воксельном пространстве с целочисленными неотрицательными координатами, представляющем набор данных как трехмерный массив;

положения в объектном пространстве, т.е. относительного некоторого центра;

положения в «мировой» системе координат;

положения в системе координат камеры;

положения в обрезающей видимую часть системе координат;

матрицу проекции на экран;

т.к. некоторые умножения (2, 3 и 4) могут быть выполнены один раз для всех точек, то это требует операций порядка

$$T2 = 3 * N^3 * (16 * t1 + 4 * t2)$$

где $t1$, $t2$ и $t3$ обозначают, соответственно, времена сложения, умножения и деления (операции с прозрачностью. В методе BTF получение значений цвета и прозрачности реализуется следующим образом:

$$A = a + A * (1 - a), C = c * a + C * (1 - A),$$

где C и A - цвет (3 цвета RGB) и прозрачность аккумулирующего буфера, c и a - цвет и непрозрачность точки. Можно записать

$$T2 = N^3 * ((1 + 3 * 2) * t1 + (2 + 2 * 3) * t2 + (k * t1) + t3)$$

где k - коэффициент интерполяции по соседним значениям для получения финальных значений.

Тогда общее время:

$$T = T1 + T2 = N^3 * ((55 + k) * t1 + 20 * t2 + k).$$

Оценим эффективность работы алгоритма на современных процессорах, с учетом того, что для них:

$$t1 = t2 = t; t3 \sim 40 * t,$$

где t - время на операцию с плавающей точкой.

Таким образом, учитывая только базовые операции, для среднего разрешения и изображения среднего качества ($N = 256$, $K = 1$ - интерполяция «по ближайшему соседу»), потребуется примерно 231 тактов процессора для получения одного кадра. 236 FP - для работы в реальном времени (30 кадров в секунду).

Если осуществить визуализацию объема с большим разрешением и трilinearной интерполяцией изображения ($N = 512$, $K = 8$), то потребуется порядка 236 тактов процессора на кадр или 240 тактов для визуализации в реальном времени

Очевидно, что сегодня для визуализации в реальном времени невозможно использовать чисто программную реализацию. Необходима разработка оптимизационных алгоритмов и аппаратных средств.

Оптимизация методов визуализации объемных данных

Для оптимизации можно использовать: когерентность в воксельном пространстве; когерентность в пиксельном пространстве; когерентность лучей; когерентность кадров; пространственные скачки [4, 5].

Первые методы оптимизации используют когерентность в пространстве вокселей, представляя 3D объем, например, в виде восьмеричного дерева. Совокупность соседних вокселей, имеющих одинаковые или

близкие с некоторой точностью значения, может, при некоторых ограничениях, быть сгруппирована в однородный кубический объем. Такой объем может быть преобразован и подвергнут рендерингу, как однородная единица. Вариантом этого является super-sampling, состоящий в уменьшении выборки вокселей в 3D областях, содержащих одинаковые или близкие значения. Вначале при прохождении луча рассматривается низкочастотная выборка точек объема - берется большой шаг между точками выборки, если же между двумя соседними точками выборки обнаруживается большая разница значений, между ними выбирается дополнительная точка. Эта базовая идея обобщается с целью снижения объема выборки в областях, в которых непрозрачность вносит небольшой вклад или в областях, где объем однороден.

Рассмотрим когерентность в пиксельном пространстве. В пространстве изображения высока вероятность того, что между двумя пикселями с одинаковым или близким цветом найдется третий пиксель, имеющий такой же или близкий цвет. Поэтому сначала лучи испускаются только из подмножества пикселей экрана (например, из каждого второго пикселя). Значения "пустым пикселям", расположенным между пикселями с близкими значениями, присваиваются путем интерполяции. В областях изображения с большим градиентом интенсивности испускаются дополнительные лучи.

Когерентность лучей. При параллельной схеме наблюдения существует большая степень когерентности между лучами (например, все лучи направлены одинаково) и множество дискретных шагов у всех лучей совпадает. Этот вид когерентности используется для того, чтобы уменьшить количество вычислений, необходимых для построения дискретной траектории луча в пространстве вокселей.

Рассмотрим когерентность кадров. При генерации анимационной последовательности, как правило, соседние кадры различаются мало. Следовательно, большая часть работы, затраченная на производство одного кадра, может использоваться для ускорения генерации следующего кадра. При каждом изменении параметров наблюдения преобразуются величины в специальном буфере, значения которого используются для нахождения точки, из которой должны начать обход объема новые лучи.

Так как прохождение пустого пространства не вносит вклад в конечное изображение, скачок через пустое пространство способен обеспечить существенное ускорение обработки и не влияет на качество изображения. В некоторых методах пространственный скачок реализуется путем использования некоторых из уже описанных типов когерентности.

Методы оптимизации используются в основном для пошагового улучшения качества изображения при интерактивной работе: например, когда пользователь манипулирует объемом, формируется изображение с низким качеством. Если же объем остается стационарным и не меняется в течение некоторого короткого периода, система улучшает качество изображения.

Выводы

Рендеринг объемов реального времени стал незаменимой технологией визуализации для широкого спектра приложений. При объемном рендеринге происходит обработка данных в трех и более измерениях. Это приводит к большой вычислительной сложности формирования графических сцен.

Предложены направления оптимизации методов визуализации объемных данных для медицинских приложений

Література

1. Wrenninge M. Production Volume Rendering: Design and Implementation / Magnus Wrenninge -2012. -335 s.
2. Sobierajski L . A Fast Display Method for Volumetric Data"/ L Sobierajski., D. Cohen, A. Kaufman, R. Yagel, and D. Acker //The Visual Computer, 10(2):116-124,-1993.
3. Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів. Монографія. / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. - Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. — 190 с.
4. Р. Ягель. Рендеринг объемов в реальном времени/ Янгель Р. //Открытые системы, 05, 1996.
5. Arie E. Kaufman "Volume Visualization: Principles and Advances". Режим доступа://www.cs.duke.edu/courses/spring03/cps296.8/papers/KaufmanVolumeVisualization.pdf

References

1. Wrenninge M. Production Volume Rendering: Design And Implementation / Magnus Wrenninge -2012 335 s.
2. Sobierajski L . A Fast Display Method for Volumetric Data"/ L Sobierajski., D. Cohen, A. Kaufman, R. Yagel, and D. Acker //The Visual Computer, 10(2):116-124,-1993.
3. Romanyuk High methods and tools for painting three-dimensional graphics. Monograph. / O. Romanyuk, A. Chorniy. – Ball: UNIVESUM-Vinnitsia, 2006. - 190 p.
4. R. Yagel. Rendering volumes of real-time / Yangel R. // Open systems, 05, 1996.
5. Arie E. Kaufman "Volume Visualization: Principles and Advances".
//www.cs.duke.edu/courses/spring03/cps296.8/papers/KaufmanVolumeVisualization.pdf

Рецензія/Peer review : 26.9.2015 p.

Надрукована/Printed :20.10.2015 p.