

## **ФОРМАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ**

**Д. И. Мазовка**

---

*Белорусский государственный университет*

*Минск, Беларусь*

*E-mail: mazovka@bk.ru*

В работе предлагается подход к решению проблемы разработки графических систем, основанный на специализированной алгебре визуализации. Представленная методология позволяет снизить затраты на разработку и поддержку систем визуализации для широкого класса задач.

*Ключевые слова:* графический конвейер, визуализация, алгебра визуализации, графические системы.

### **ВВЕДЕНИЕ**

При решении прикладных задач часто возникает необходимость в визуальном представлении полученных результатов. В связи с этим появилось новое научное направление – компьютерная графика. В процессе своего развития сформировался особый ее тренд, определив концепцию графического конвейера. Это совокупность подходов, алгоритмов, устройств и программ, реализующих процесс визуализации – перевод данных из исходного представления в двумерное изображение.

Развитие графического конвейера шло по пути максимальной автоматизации его функций. Значительная часть алгоритмического наполнения реализовалось аппаратными средствами, а программный интерфейс был вынесен в соответствующие ап-

паратно-независимые библиотеки [1]. Вместе с тем при разработке реальных систем визуализации возникает множество стандартных проблем и подзадач, которые можно позиционировать между автоматизированной частью конвейера и исходной прикладной задачей, образуя своеобразный промежуточный программный уровень.

В работе предлагается подход, в котором, определяя дополнительный уровень абстракции в виде универсальной задачи визуализации, задается потенциальное направление для дальнейшей автоматизации функционального наполнения графического конвейера.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Рассмотрим базовые понятия компьютерной графики. Вначале определим, что такое компьютерная графика.

Компьютерная графика (также машинная графика) – это область деятельности, в которой компьютеры используются как для синтеза (создания) изображений, так и для обработки визуальной информации, полученной из реального мира. Также компьютерной графикой называют результат такой деятельности [2].

Визуализация в общем смысле – это процесс или результат представления информации. В компьютерной графике процесс визуализации определяется специальным термином – рендеринг (rendering). В данном контексте под этим термином понимается набор аппаратно-программных средств, реализующих процесс генерации изображения. Можно выделить два основных подхода, реализующих процесс рендеринга – растеризацию (rasterization) и группа методов, реализующих глобальное освещение (трассировка лучей (raytracing), радиосити (radiosity), ambient occlusion).

Растеризация – это метод рендеринга, реализующий отображение трехмерных векторных данных в двумерные кадры. При растеризации представление реальности достигается не моделированием, а имитацией или приближением реальных процессов. Это позволяет значительно ускорить время генерации изображений в отличие от методов глобального освещения.

В силу высокой вычислительной трудоемкости методы глобального освещения не использовались при динамическом рендеринге. Но благодаря возможностям современного аппаратного обеспечения, это ограничение постепенно снимается. Тем не менее графическое оборудование в большей степени использует именно методы растеризации.

## ГРАФИЧЕСКИЙ КОНВЕЙЕР

Процесс растеризации в рендеринге можно представить в виде так называемого графического конвейера. Технология конвейера появилась в середине 1990-х гг., когда были созданы первые видеоускорители, автоматизирующие некоторые операции растеризации. В настоящее время конвейер представлен широким набором постоянно совершенствующихся средств. В общем виде конвейер можно представить в виде этапов [2]:

1. Моделирование — этап прикладной программы.
2. Интерфейс графического оборудования.
3. Аппаратная обработка данных.
4. Вывод последовательности кадров на экран.

Проблема повышения производительности конвейера на разных этапах решается по-разному. На аппаратном уровне это решается в основном путем наращивания количества обрабатывающих процессоров, повышая при этом объемы и качество памяти. На программном уровне, из-за слабой формализации процесса визуализации, существуют определенные проблемы. В силу наличия большого количества разнообразных прикладных задач визуализации, а также отсутствия универсальной методологии их решения появляется узкое место. Разработчикам предлагаются два варианта:

1. Выбор существующей системы визуализации для решения конкретной прикладной задачи.
2. Реализация собственной программной системы, реализующей прикладной этап конвейера.

В первом случае в процессе решения задачи неизбежно появятся искажения, обусловленные особенностями и ограничениями применяемой системы. Расширение первоначальной задачи также ставится под вопрос, так как в этом случае может потребоваться существенная переработка используемой системы, либо отказ от нее в пользу какой-либо другой.

Во втором случае решение заведомо трудоемко и затратно.

Одним из путей решения проблемы может стать стандартизация этого процесса.

Ниже предлагается подход, основанный на алгебре визуализации – языке формального описания процесса визуализации.

## АЛГЕБРА ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Процесс визуализации можно представить в виде выражения:  $Model \rightarrow Frames$ , где  $Model$  — это визуализируемая математическая модель некоторого реального явления, а  $Frames$  — последовательность кадров, визуализирующая динамику изменений модели. С учетом обобщенных этапов графического конвейера, выражение представляется в виде:  $Model \rightarrow HAL \rightarrow HW \rightarrow Frames$ , где  $HAL$  (*Hardware Abstraction Layer*) — интерфейс графического оборудования  $HW$  (*Hardware*).

Переход от модели к интерфейсу оборудования является интересующей нас областью. Проблема состоит в том, что в общем случае модель может описываться произвольным образом, в то время как с другой стороны требуется получить в ее стандартном представлении в виде последовательности инструкций, понятных оставшейся части конвейера [3]. Это преобразование можно изобразить с помощью рис. 1:

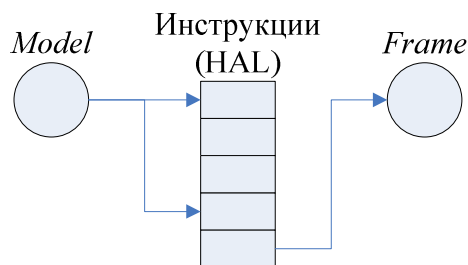


Рис. 1. Процесс визуализации

Переход от модели к последовательности инструкций осуществляется через множество преобразований и упорядочивание данных. Этот процесс может быть

представлен в виде графа, узлами которого являются процедуры трансформации данных. Для формального описания этой структуры предлагается специализированная алгебра визуализации.

Алгебра визуализации — это система, состоящая из множества объектов и операций визуализации, а также правил применения этих операций к объектам. В число объектов алгебры входят:

1. Сцена ( $S$ ) — множество всех объектов визуализируемой модели.
2. Объект сцены ( $O$ ) — логически выделенная часть сцены, выступающая в качестве отдельной единицы при визуализации. Объект состоит из атрибутов.
3. Атрибут объекта ( $A$ ) — некоторая характеристика объекта.
4. Кадр ( $F$ ) — результат рендеринга, двумерная матрица, описывающая изображение на экране.

В качестве операций алгебры введем следующие четыре:

1. Выборка (Sample).
2. Трансформация (Transform).
3. Рендеринг (Render).
4. Блендинг (Blend).

Классом назовем именованную совокупность объектов, имеющих определенный набор атрибутов, а также заданные ограничения значений этих атрибутов. Множества объектов разных классов в то же время могут пересекаться.

Определение операции выборки ( $A, B$  — множества объектов):

Выборка (*Sample*) — это отображение одного или двух множеств в другое множество, являющееся подмножеством первого аргумента:

$$Sample : 0 \rightarrow 0.$$

$$Sample : A, B \rightarrow \hat{A}; \hat{A} \subseteq A.$$

Трансформация (*Transform*) — безусловная операция генерации множества однотипных объектов на основании кортежа множеств однотипных объектов.

$$Transform : T \rightarrow \hat{A}; T = \langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle.$$

Рендеринг (*Render*) — операция генерации кортежа кадров на основании кортежа множеств однотипных объектов.

$$Render : T \rightarrow \langle F_1, F_2, \dots, F_m \rangle; T = \langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle.$$

Блендинг (*Blend*) — операция генерации кадра на основании кортежа кадров.

$$Blend : T \rightarrow F; T = \langle F_1, F_2, \dots, F_n \rangle.$$

Задача визуализации звучит следующим образом:

Имея сцену  $S$ , построить визуализацию в виде кадра  $F$ .

Переформулируя ее в терминах алгебры визуализации, получим:

Имея сцену  $S$ , построить операторное выражение  $R$  определенное в алгебре визуализации, генерирующее кадр  $F$ :  $R(S) = F$ .

Операторное выражение  $R$  представляет собой суперпозицию операций алгебры примененных к начальной сцене, и может быть интерпретировано в виде графа процесса визуализации (рис. 2):

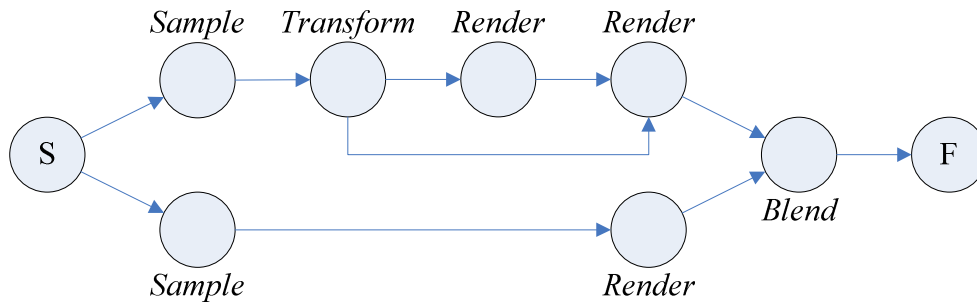


Рис.2. Пример графа процесса визуализации

Таким образом, выражение образует ориентированный ациклический слабо связанный граф. В графе присутствует единственная начальная вершина  $S$ , недостижимая из любой другой вершины, но любая другая вершина достижима из  $S$ , а также единственная конечная вершина  $F$ , достижимая из любой другой вершины, но любая другая вершина недостижима из  $F$ .

Операции рендеринга и блендинга в алгебре генерируют конечные последовательности инструкций для оборудования, таким образом граф можно спроецировать на линейную последовательность команд (рис. 3). В итоге с помощью алгебры визуализации мы получаем формальное описание первого этапа работы графического конвейера для некоторой задачи визуализации.

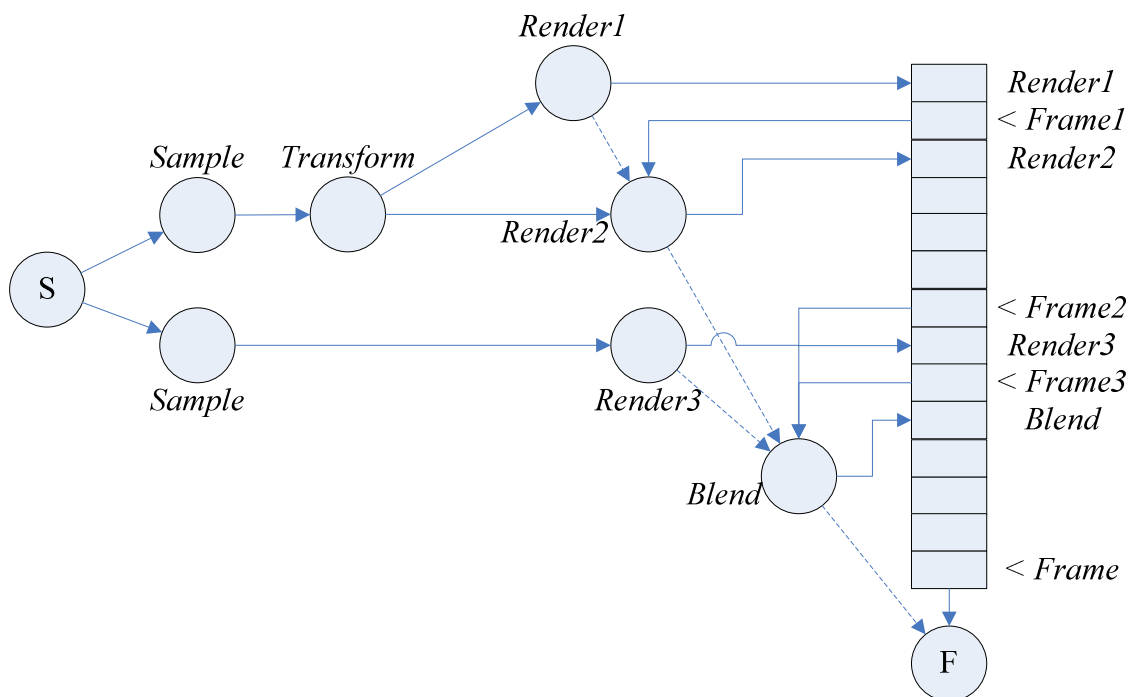


Рис.3. Проецирование графа процесса на последовательность инструкций

Таким образом, введение формального описания процесса визуализации с помощью алгебры визуализации помогает стандартизировать методы решения типичных проблем, возникающих при разработке графических систем.

По аналогии с реляционной алгеброй и языками запросов, технической реализацией предложенного подхода может являться специализированный язык описания

и построения процессов динамической визуализации. Это позволит удешевить создание и поддержку графических систем для различных прикладных задач.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе рассмотрена проблема организации систем визуализации реального времени. Предложен подход, связанный с формализацией процесса построения кадров в виде алгебры визуализации, которая является универсальным интерфейсом для разработки систем (по аналогии с реляционной алгеброй СУБД).

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Microsoft DirectX documentation (August 2009).
2. *Akenine-Möller, T.* Real-time rendering 3rd edition / T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman. Massachusetts, Wellesley, 2008.
3. *Krasnoproshin, V.* Graphics pipeline automation based on visualization algebra / V. Krasnoproshin, D. Mazouka // PRIP-2011. Minsk, 2011.