

УДК 004.7

Е.В.Тарабукина (5 курс, каф. АиВТ), О.И.Иванов, к.т.н., доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕД

Функционирование таких областей, как атомная энергетика, космические исследования, химическая промышленность, авиастроение, архитектура и многих других для проектирования и оценки процессов требует построения реалистичных трехмерных моделей в реальном масштабе времени. Для этого используются интерактивные компьютерные графические системы, которые моделируют трехмерное изображение «с точки зрения стороннего наблюдателя» под интерактивным управлением пользователя. Если изображение воспроизводится четко и достаточно быстро, то иллюзия исследования виртуальной среды в реальном масштабе времени может быть достигнута путем моделирования перемещения наблюдателя сквозь модель.

Очевидно, что основными для таких систем визуализации являются следующие проблемы и задачи:

- необходимость поддерживать интерактивную скорость смены кадров, так как если она слишком медленная или слишком быстрая или резко изменяющаяся, то ощущение интерактивности и реалистичности у пользователя сильно уменьшается;
- сложные модели могут содержать миллионы полигонов, а это - гораздо больше, чем могут выполнить на интерактивных скоростях смены кадров рабочие станции в настоящее время;
- сложность видимой наблюдателю части модели может быть очень переменной, что также затрудняет генерацию кадров с постоянной скоростью.

Рассмотрим решение этих проблем, использовавшееся ранее.

- Использование *алгоритмов отсечения невидимых поверхностей*, вычисляющих только ту часть модели, которая видима из точки наблюдения. Те же части модели, которые не видны наблюдателю, данные алгоритмы отсекают, тем самым значительно улучшая скорость смены кадров. Однако, в сложных, сильно детализированных моделях гораздо больше полигонов видимы из точки наблюдения, чем может быть представлено в интерактивное время кадра. (Алгоритм 1).
- Использование алгоритмов, реализующих отсечение некоторых видимых, но «незначимых» для наблюдателя поверхностей для того чтобы уменьшить число полигонов в кадре. Такие алгоритмы базируются на множественных *уровнях детализации* и приводят к улучшению скорости передачи кадров и более эффективному использованию памяти. Однако данный подход может успешно использоваться лишь в тех случаях, когда большинство видимых объектов находится далеко от наблюдателя и изображается малым числом пикселей. Кроме того, недостатком данного метода является то, что скорость передачи кадров может произвольно замедляться по мере того, как видимая наблюдателю картина произвольно усложняется. (Алгоритм 2).
- Использование *алгоритмов выбора уровней детализации* предполагает поддержание указанной целевой скорости передачи кадров путем регуляции размера порога для выбора уровня детализации. Здесь используется обратная связь по времени, которое потребовалось для выполнения предыдущих кадров. Эта адаптивная методика хорошо работает в тех случаях, где от кадра к кадру в сложном изображении сохраняется больше количество связей, как, например, в имитаторах полета. Но при визуализации более прерывистых виртуальных сред количество и сложность видимых наблюдателю объектов изменяется

внезапно, и, таким образом, размер порога, базирующийся на времени, требуемом для выполнения предыдущих кадров, является неприемлемым и может привести к плохой работе. (Алгоритм 3).

Таким образом, был сделан вывод о необходимости создания *прогнозирующего адаптивного алгоритма*, основанного на сложности сцены, которая представлена в текущем кадре, а не только на времени, требуемом для выполнения предыдущих кадров. Прогнозирующий алгоритм мог бы оценить время, требуемое на выполнение каждого объекта на каждом уровне детализации, и затем вычислить наибольший размер порога, который позволяет текущему кадру выполняться в пределах целевого кадра.

Законченных решений для осуществления прогнозирующего алгоритма не существует. Один из подходов – это обобщение прогнозирующего подхода. Концептуально, каждый потенциально видимый объект может быть представлен с любым уровнем детализации и с любым алгоритмом исполнения. Каждая комбинация объектов отображается с некоторым уровнем детализации, и алгоритмы исполнения используют некоторое количество времени, чтобы воспроизвести изображение.

Задача исследования заключается в том, чтобы найти такую комбинацию уровней детализации и алгоритмов исполнения для всех потенциально видимых объектов, которая даст возможность получить «наилучшее» изображение в кадре за заданное время.

Формально, мы можем определить объектный кортеж:

$$(O, L, R),$$

где O – объект, изображенный с уровнем детализации L с использованием алгоритма R . А также определим две эвристики:

$$\begin{array}{ll} 1) \text{ Стоимость:} & C(O, L, R); \\ 2) \text{ Выгода:} & B(O, L, R). \end{array}$$

Эвристика C оценивает время, требуемое, чтобы выполнить объектный кортеж, а эвристика B оценивает вклад в качество модели рассматриваемого объектного кортежа. Пусть S – множество объектных кортежей, представленных в каждом кадре, а t – заданное время кадра. С использованием данного формализма подход к выбору уровня детализации и алгоритма исполнения для каждого потенциально видимого объекта может быть таким:

$$\text{В пределе: } \sum_s B(O, L, R) \text{ зависит от: } \sum_s C(O, L, R) \leq t$$

Используя несколько упрощений и предположений, можно найти приблизительные, но достаточные для эффективной работы алгоритма C и B .

Для нахождения C использовалась модель, представляющая собой конвейер с двумя функциональными стадиями: *стадия примитива* (координатные преобразования, вычисления освещения, отсечение, и т.д.) и *стадия пикселя* (растеризация, z-буферизация, альфа-смешивание, текстурирование изображения, и т.д.).

$$C(O, L, R) = \max\{C1*N(O, L)+C2*V(O, L) \\ C3*P(O),$$

где $C1*N(O, L) + C2*V(O, L)$ – время, требующееся для *стадии примитива*, и представляющее собой линейную комбинацию количества многоугольников и вершин в объектном кортеже, а $C1$ и $C2$ – коэффициенты, которые зависят от алгоритма исполнения и используемой машины. $C3*P(O)$ – время, требующееся для *стадии пикселя*, и пропорциональное количеству пикселей, которое охватывает объект.

Для нахождения B как «прибыли» или «вклада» в восприятие модели человеком использовалась следующая эвристика: интуитивно понятно, что объекты, расположенные ближе и кажущиеся наблюдателю большими, требуют лучшего качества изображения, чем

объекты в перспективе. Значит, прежде всего, В зависит от количества пикселей, занятых объектом S(O). Также В зависит от:

- «точности» $A(O, L, R) = 1 - E$, где E – погрешность, на которую наше изображение отличается от «идеального» изображения;
- «важности» для наблюдателя $I(O, L, R)$;
- «фокуса» $F(O, L, R)$;
- «движения объекта» $M(O)$;
- «гистерезиса» - различий в уровнях детализации $H(O, L, R)$.

Значение В было найдено как произведение всех вышеперечисленных факторов:

$$B(O, L, R) = S(O) * A(O, L, R) * I(O) * F(O) * M(O) * H(O, L, R).$$

Для таких С и В и алгоритма, который выбирает самое высокое значение X, где

$$X = B(O, L, R) / C(O, L, R),$$

результат выглядит так:

Алгоритм	Минимальное время кадра, с	Максимальное время кадра, с
Алгоритм 1	0, 43	0, 99
Алгоритм 2	0, 11	0, 20
Алгоритм 3	0, 10	0, 16
Адаптивный алгоритм оптимизации	0, 10	0, 13

Дальнейшая задача поиска способа создания «наилучшего» изображения сводится к следующим подзадачам:

- 1) выбор алгоритма детализации L из множества возможных L;
- 2) выбор алгоритма R из множества возможных R;
- 3) выбор способа оптимизации функции $\sum_s B(O, L, R)$;
- 4) выбор возможных ограничений для оптимизации функции $\sum_s B(O, L, R)$, например, $\sum_s C(O, L, R) \leq t$, $\sum_s C(O, L, R) \leq r$, где r – используемые ресурсы;
- 5) выбор способов нахождения С и В. Например, возможен вариант нахождения аддитивного значения В, а также увеличения или уменьшения количества влияющих на эти величины факторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Funkhouser, Thomas A., Sequin, Carlo H., and Teller, Seth J. Management of Large Amounts of Data in Interactive Building Walkthroughs. *ACM SIGGRAPH Special Issue on 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics*, 11-20.
2. Schachter, Bruce J. (Ed.). *Computer Image Generation*. John Wiley and Sons, New York, NY, 1983.