

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

И.А. Ерофеев, О.И. Носарев, В.Ю. Харитонов (ООО «Группа Кронштадт»)

Приводится сравнение традиционных методов визуализации и системы физически обоснованного освещения (PBR — *physically based rendering*). Отмечено, что одной из первых в мире реализаций PBR подхода для построения изображения кабиной обстановки в авиационном тренажере является отечественная система визуализации «Аврора 3» компании «Группа Кронштадт».

Ключевые слова: визуализация, система физически обоснованного освещения, авиационный тренажер, расчет освещения.

Система визуализации кабиной обстановки традиционно является одной из самых сложных и наиболее высокотехнологичных компонент современного авиационного тренажера [1, 2]. Ядром любой системы визуализации является генератор изображения, на который возлагается задача формирования максимально реалистичной картины окружающего виртуального пространства.

Впервые появившись в начале 70-х годов XX века [3, 4], система визуализации на базе компьютерного синтеза изображения на рубеже 2000-х годов претерпела значительные изменения благодаря появлению общедоступных специализированных ускорителей трехмерной графики. Существовавшие до этого одиночные решения пополнились десятками новых инновационных и высокотехнологичных генераторов изображений, что сформировало значительную конкуренцию на данном рынке. Одновременное появление общедоступных покрывающих весь мир спутниковых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого разрешения наряду со стремительным развитием аппаратных технологий рендеринга произвели революционные изменения в генерации и последующей визуализации баз данных рельефа за счет значительного увеличения уровня детализации и размеров моделируемых территорий, а также расширения базы высокодетальных аэродромов. Наряду с этим появилась возможность оперативного обновления баз данных при относительно небольших затратах и себестоимости. На сегодняшний день такие характеристики, как планетарная модель ландшафта, обеспечивающая визуализацию высокодетальных ортофото и матриц высот, моделирование зданий и сооружений, дорожной сети, растительности, элементов гидрографии являются стандартными для современных систем визуализации.

Процесс визуализации предполагает не только моделирование трехмерного ландшафта, но также включает отображение всевозможных эффектов — атмосферных и погодных, моделирование освещения в произвольное время суток и т. п. Недостаточно просто смоделировать окружающий летчика ландшафт, необходимо рассчитать освещение, видимость, визуализировать различные метеоусловия, такие как осадки, облачность, приземный туман в произвольное время суток. Одна из главных задач тренажера — отработка действий пилота в сложных метеоусловиях, в условиях недостаточной видимости, в ночное

или вечернее время суток. Именно обеспечению визуализации в таких нестандартных условиях и посвящена большая часть требований, описываемых как в отечественных стандартах — нормах годности авиационных тренажеров, так и в международных стандартах — EASA CS-FSTD (A, H), ICAO 9625 (v.1, v.2).

В то время как алгоритмы расчета освещения постоянно совершенствуются, следуя за увеличивающейся мощностью 3D ускорителей, многие ведущие производители систем визуализации и тренажеров в целом крайне консервативно подходят к вопросу разработки новых методов визуализации виртуального мира. Возможно, это является следствием того, что как отечественные, так и международные стандарты в части систем визуализации, в свою очередь, также консервативны и основываются на технологиях 5...10-летней давности. Все это привело к тому, что на сегодняшний день многие такие системы имеют серьезные ограничения. В частности, применяемые в настоящее время методы отображения текстурных поверхностей, будь то ортофото земной поверхности или текстуры объектов, обеспечивают корректную цветопередачу только днем — примерно в тех условиях, когда происходила съемка фотографий, — и не обеспечивают корректной передачи цвета в ночных условиях. Другим ограничением является число одновременно рассчитываемых динамических источников освещения. В существующих системах для имитации большого числа источников света вводятся искусственные источники света, в которых освещение рассчитывается путем подстановки заранее рассчитанных текстур, и многие другие ухищрения, которые применялись много лет назад вследствие недостаточной производительности имеющегося на тот момент аппаратного обеспечения. Таким образом, с учетом развития современных программно-аппаратных средств можно констатировать, что традиционный подход к построению изображения исчерпал себя и не обеспечивает адекватного восприятия окружающей обстановки.

Решением вышеуказанных проблем является отказ от традиционных методов визуализации и переход на систему *физически обоснованного освещения* (PBR — *physically based rendering*) [5,6]. Этот метод берет за основу идею использования реалистичных моделей затенения/освещения вместе с заданными значениями свойств поверхности с целью точного воспроизведения реальных материалов.



Рис. 1. Фотореалистичные изображения, генерируемые в реальном времени системой визуализации «Аврора 3»

Для понимания физики процесса необходимо рассмотреть взаимодействие между светом и поверхностью. Падающий световой поток может быть отражен или поглощен. Энергия потока может перераспределяться, но не может увеличиваться. Данное явление в физике известно как закон сохранения энергии. Это, казалось бы, банальное свойство может не соблюдаться в ранних применяемых моделях освещения, приводя, например, к тому, что световой блик на объекте мог быть более ярким, чем источник света, который его породил. Как ни странно, но в большинстве существующих систем визуализации данное нарушение закона сохранения считается в порядке вещей.

От физического процесса перейдем к математическим моделям. Основная функция, которая позволит нам определить, какая доля светового потока была отражена, а какая поглощена, называется ДФОС (двухлучевая функция отражательной способности) или *BRDF (Bidirectional Reflection Distribution Function)*. Цель данной функции — рассчитать количество энергии, излучаемой в сторону наблюдателя при заданном входящем световом потоке. Различают ДФОС для рассеянного или переизлученного (*diffuse*) света и ДФОС для отраженного света, которая напрямую связана с моделированием отражения от поверхности с учетом микрогеометрии. Дополнительно

необходимо учитывать, что сила отражения света зависит от угла падения. Это поведение описывается формулами Френеля, которые определяют амплитуду и интенсивность отраженной и преломленной электромагнитной волны при прохождении через границу двух сред. Оригинальные уравнения Френеля слишком тяжелы для расчета в реальном времени, поэтому для их вычисления используют различные аппроксимации.

Не менее важным является корректный расчет распространения света от множества источников света как точечных, так и направленных. Это достигается путем математического интегрирования рассеивания и затухания света в атмосфере от всех наблюдаемых источников. Вышеуказанные алгоритмы успешно применяются в кинематографии при компьютерном моделировании спецэффектов или в современных компьютерных играх.

Одной из первых в мире реализаций PBR подхода для построения изображения в авиационном тренажере является отечественная система визуализации «Аврора 3» компании «Группа Кронштадт». Соответствуя всем отечественным и международным требованиям, предъявляемым к системам визуализации самого высокого уровня, «Аврора 3» обеспечивает качественно новый уровень визуализации закабинной обстановки (рис. 1).

Реализация единой энергетической модели расчета освещения и рассеивания света в атмосфере позволила не только корректно смоделировать освещение в произвольное время суток и при любых погодных условиях от каждого искусственного источника света (что в принципе невозможно в традиционной модели), но и корректно рассчитать видимость искусственных огней. Необходимо отметить, что в отличие от большинства существующих систем визуализации в новой модели нет ограничений на число источников света в сцене, и все они принимают участие в расчете.

Переход на физически обоснованную модель освещения влечет за собой коренные изменения не только в алгоритмах, но и в системе подготовки данных. Традиционные методы визуализации не предполагают наличия каких-либо физических свойств материала, кроме как текстуры диффузного цвета (*diffuse color*). Как правило, такие текстуры создаются на основе фотографий, где помимо цвета самой поверхности запечатлены цвет окружающего освещения, отражения, микротени и т.д. В случае физически обоснованной отрисовки необходимо задать текстуры чистого диффузного цвета, текстуры коэффициента Френеля, текстуры микронеровностей (шероховатости), текстуры макронеровностей (нормали поверхности). Если для объектов дизайнер мо-



Рис. 2. Режим имитации ночного видения в системе визуализации «Аврора 3»

жет создать нужные текстуры на основе информации о самом объекте, используя библиотечные данные, то для ортофото земной поверхности нужную информацию можно извлечь из мультиспектрального ДЗЗ.

Физически обоснованная модель освещения, за счет учета свойств материалов и расчета освещения от всех источники освещения, позволила вывести на качественно новый уровень систему имитации ночного видения (рис. 2). Как известно, система ночного видения работает в ближнем инфракрасном спектре и позволяет отображать слабоосвещенные объекты, усиливая входящий сигнал и обеспечивая широкий динамический яркостной диапазон. Поскольку в традиционных методах визуализации не существует понятий отражаемой и рассеиваемой энергии, то для имитации системы ночного видения приходилось разрабатывать отдельные модель визуализации и исходные данные, что приводило к значительному удорожанию стоимости таких проектов. При этом было невозможно обеспечивать должную реалистичность изображения при отображении множества искусственных источников освещения. В предлагаемой модели в силу универсальности приме-

няемых уравнений расчета и возможности учета множества источников освещения отсутствуют какие-либо ограничений на то, в каком спектре производить вычисления.

В заключение отметим, что отечественная система визуализации «Аврора 3» по многим характеристикам превосходит и способна конкурировать с ведущими зарубежными аналогами и, по сути, является первым представителем нового поколения систем визуализации. С момента выхода на рынок в 2015 г. «Аврора 3» за относительно небольшой промежуток времени была высоко оценена разработчиками тренажеров разных стран и на сегодняшний день входит в состав поставки комплексных тренажеров в таких центрах, как Сколково (Россия), AMST-Systemtechnik GmbH (Австрия), PharmaFlight (Венгрия), система уже установлена в Санкт-Петербургском Государственном университете гражданской авиации (СПбГУ ГА), Ульяновском институте гражданской авиации (УВАУ ГА).

Список литературы

1. Харитонов В.Ю., Бажин В.А., Рудельсон Л.Е. Компьютерное воспроизведение виртуальной реальности в современных авиационных тренажерах // Научный Вестник МГТУ ГА, №171 (9), 2011 г. М.: Изд. МГТУ ГА, 2011. С. 158-165.
2. Ерофеев И.А., Ждан Д.Ю., Носарев О.И. Система визуализации «Аврора» компании Транзас: возможности, проблемы, перспективы // Тр. конф. «Рынок авиационных тренажеров: нормы, технологии, разработки, потребности». 2008. Жуковский.
3. Rolfe J.M. and Staples K.J. Flight Simulation // Cambridge University Press, London, 1986.
4. Flight Simulation Training Device. Evaluators' course // Training Technology International Limited, 2009.
5. Naty Hoffman. Background: Physics and Math of Shading // SIGGRAPH 2012 Course: Practical Physically Based Shading in Film and Game Production, 2012.
6. S'ebastien Lagarde, Charles de Rousiers. Moving Frostbite to Physically Based Rendering 2.0 // SIGGRAPH 2014 Course: Physically Based Shading in Theory and Practice, 2014.

Носарев Олег Игоревич — начальник отдела разработки ПО систем визуализации,
Ерофеев Илья Александрович — зам. начальника отдела разработки ПО систем визуализации,
Харитонов Василий Юрьевич — канд. техн. наук, руководитель группы интеграции ООО «Группа Кронштадт».
 Контактный телефон (495) 748-35-84
 E-mail: oleg.nosarev@kronshtadt.ru

Первое в России полное электронное картографическое покрытие внутренних водных путей: Группа «Кронштадт» приступила к реализации очередного этапа

Группа «Кронштадт» успешно выиграла конкурс на выполнение очередного этапа уникального проекта «Карта-Река» в рамках ФЦП «Глобальная навигационная система (ГЛОНАСС)» в 2016 г.

Группа «Кронштадт» является головным исполнителем по созданию и обновлению баз данных навигационной информации для электронного картографического обеспечения внутренних водных путей (ВВП) с использованием сигналов отечественной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС. На сегодняшний день создана база данных для составления и обновления электронных навигационных карт на участки ВВП РФ общей протяженностью 52 657 км из существующих 60 000 км. В 2016 г. запланировано выполнение работ по созданию 4 380 км и обновлению 4 830 км участков ВВП РФ.

Одновременно с созданием базы электронных карт в рамках ФЦП «ГЛОНАСС» проводится выездной цикл обучения специалистов и осуществляется поставка и установка в бассейновые администрации необходимого для работы оборудования и ПО. В апреле

2016 г. Группа «Кронштадт» объявила о начале обучения в бассейновых администрациях внутренних водных путей страны, целью которого стало повышение уровня компетенций специалистов по работе на современном оборудовании и освоение программного обеспечения: судовых обстановочных комплексов, систем координированного управления эмснарядом, автоматизированных промерно-изыскательских комплексов.

Компания принимает участие в проекте «Карта-Река» с 2004 г.; с 2011 г. весь комплекс работ по созданию электронных карт на внутренние водные пути осуществляется по заказу Минтранса РФ и включает создание новых электронных карт судоходных водных путей, а также корректировку ранее созданных компанией электронных карт. Прошедшие камеральную проверку в Федеральном бассейновом управлении «Администрация Волго-Балт» электронные навигационные карты (ЭНК) внутренних водных путей РФ используются для обеспечения безопасности плавания судов и плавсредств, оборудованных соответствующими системами отображения ЭНК.

<http://www.kronshtadt.ru>