

В.В. ПОДЛЕСНЫЙ, Н.Ф. ЮША
**ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОБЛАКОВ
ДЛЯ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА**

Подлесный В.В., Юша Н.Ф. **Выбор критериев оценки визуализации облаков для авиационного тренажера.**

Аннотация. Представлен обзор существующих подходов к квалификационной оценке системы визуализации для авиационных тренажеров. Предлагается набор критериев, а так же процедур их применения для оценки качества визуализации облаков.

Ключевые слова: квалификационная оценка, критерии качества визуализации, компьютерная графика, авиационные тренажеры.

Podlesny V.V., Usha N.F. **Selection of criteria for assessing clouds visualization for a flight simulator.**

Abstract. A review of existing approaches to the qualification assessment of a visualization system for flight simulators is described in the paper. A set of criteria for assessing the quality of clouds visualization as well as procedures for their use are reported.

Keywords: qualification assessment, criteria for the visualization evaluation, computer graphics, flight simulators.

1. Введение. Система визуализации современного авиационного тренажера – одна из самых главных его составляющих. Ее построение требует больших затрат человеческих и денежных ресурсов. В то же время, система визуализации отвечает за наиболее критичный аспект в современных тренажерах – человеческое восприятие. Поэтому от того, насколько точно она воспроизводит визуальную обстановку зависит то, какие навыки получит обучаемый экипаж.

В системе визуализации могут быть выделены, по меньшей мере, три компоненты – генератор изображения, система коррекции и проекционная система. Стоит заметить, что последние две являются зависимыми друг от друга, в то время как, генератор изображения оказывается неизменным. Также можно утверждать, что именно генератор изображения, в конечном итоге, ответственен за свойство «правдоподобия» системы визуализации. Действительно, с помощью специфической проекционной системы можно добиться эффекта «присутствия» в виртуальном пространстве (например, системы CAVE), однако, это необязательно сказывается на его реалистичности (медицинские тренажеры). Поэтому, говоря о системах визуализации, в первую очередь, необходимо принимать во внимание системы синтеза изображения.

Квалификационная оценка тренажерной системы – определяющий фактор ее ввода в эксплуатацию. В контексте системы визуализации

квалификационная оценка еще и основной инструмент проверки текущего состояния тренажера, так как период обновления генератора изображения, зачастую, гораздо короче, чем период обновления других компонент тренажерной системы. Поэтому набор критериев и процедур их применения, составляющих программу квалификационной оценки, должен быть актуальным и соответствовать текущему развитию систем визуализации.

Генератор изображения для авиационного тренажера – это задача построения виртуального мира, где ключевыми особенностями, к примеру, являются: большие открытые пространства, симуляция погодных условий, высокая детализация зоны ВПП и аэропорта. В частности, моделирование облачности [1], как одного из видов погодных условий, критично для летного авиационного тренажера, так как позволяет создавать специфичные тренировочные сценарии, требующие выработки определенных навыков от экипажа.

Данная статья посвящена выбору критериев для квалификационной оценки генератора изображения авиационного тренажера. Особое внимание здесь уделено визуализации трехмерных облаков. Это сделано по двум причинам. Во-первых, симуляция трехмерного облачного слоя для авиационных тренажеров стала возможной сравнительно недавно. Во-вторых, на данный момент не существует четко обозначенных критериев оценки их визуализации. Таким образом, ставится задача определения ключевых свойств визуализации облаков и процедуры их описания в целях проведения квалификационной оценки.

2. Существующие методы квалификационной оценки. Квалификационная оценка авиационного тренажера является сложной и трудновыполнимой задачей, требующей наличия определенных нормативов и стандартов для ее проведения. Наиболее известным и широко применяемым стандартом проведения квалификационной оценки является стандарт ИКАО 9625 [2]. Он описывает правила для оценки большого числа компонентов авиационного тренажера. В том числе, стандарт ИКАО 9625 поддерживает свод правил для проведения квалификационной оценки системы визуализации авиационного тренажера. Однако данный стандарт не содержит ни критериев, ни директив по квалификационной оценке визуализации облаков.

3. Критерии оценки визуализации облаков. Количественные оценки, в силу своей наглядности и простоты, являются наиболее удобной мерой визуального качества системы отображения облаков для авиационных тренажеров. Основная проблема заключается в том, что качество изображения само по себе трудно оценить количественно

[3, 4]. К примеру, машинные методы позволяют вычислить различия между эталонным образцом и исследуемым. Эталонный образец может быть как фотографией реальных облаков, так и сгенерированным с помощью высокоточной (unbiased) системы промышленного рендеринга, используемой, например, в киноиндустрии. В первом случае достаточно трудно повторить ситуацию, запечатленную на фотографии; во втором на первый план выходит скорость синтеза изображения [5] – порой она достигает нескольких суток. Это становится критичным, когда необходимо анализировать генерируемую случайным образом (на основе команд пользователя), а не заранее подготовленную, последовательность изображений. Поэтому, наиболее подходящим способом количественной оценки является субъективное суждение человека, чье восприятие величины определенной характеристики изображения можно было бы выразить в виде некоторого числового эквивалента. Одновременно, можно выделить ряд параметров, которые являются объективными по своей сути и играют важную роль при оценке качества изображения (например, линейные и угловые размеры объекта).

Оценка визуализации облаков (как и других компонентов генератора изображения: земной поверхности, инфраструктуры аэропортов и т.п.) становится наиболее актуальной в случае летного тренажера. Дело в том, что для пилота воздушного судна визуальная обстановка играет большую роль в оценке текущей ситуации. А именно, имея ошибочные представления о визуальном соответствии заданным инструктором условиям полета на этапе обучения, будущий пилот может принимать неверные решения в реальной ситуации. Поэтому для тестирования генератора изображения необходимо привлекать опытных пилотов (и/или инструкторов летных училищ), чья совокупная оценка могла бы наиболее точно характеризовать «правдивость» воспроизведения окружающей обстановки.

Как и любой другой объект визуализации, облака можно определить соответствующими пространственными и цветовыми характеристиками. Поэтому в качестве общих критериев для экспертной оценки можно предложить следующее:

- восприятие пространственных размеров облачного слоя;
- восприятие дистанции до облака (облачного слоя);
- распознавание деталей и отличительных особенностей (черт) в структуре облака;
- восприятие движения внутри облака (облачного слоя);
- отличие между эталонным и сгенерированным образцами.

Восприятие глубины связано с восприятием атмосферной перспективы, детализации и освещения облаков (наличие теней, корректное прохождение и отражение света создают визуальный объем объекта). Наряду с выявлением структурных особенностей и пространственных размеров облаков, это позволит пилоту определить их тип, опасность взаимодействия с ними, дистанцию и время подлета к ним, время прохождения сквозь облако, а так же перечень будущих действий и маневров.

Несмотря на то, что машинное сравнение эталонного образца и синтезируемого изображения в реальной ситуации не очень удобно (если не невыполнимо), использование эталона само по себе достаточно полезно. Поэтому, одним из критериев оценки вполне может служить воспринимаемая человеком степень сходства между анализируемым изображением и предоставленным эталоном.

Как уже ранее упоминалось, количественно оценить данные характеристики можно, присвоив некоторое число, пропорциональное их воспринимаемой величине. Для генерации этого числа необходима группа человек, в состав которой будут включены как опытные пилоты и диспетчера, так и люди, имеющие достаточные знания о видах облаков и их отличительных особенностях. Таким образом, используя методы статистического анализа для вычисления общей групповой оценки, можно будет сделать вывод о степени «правдоподобия» (иными словами, визуального соответствия) отображения облаков.

В то же время остается нерешенным вопрос, каким должен быть сценарий экспертизы. Исходя из вышеизложенного, предлагается использовать несколько достаточно простых этапов проведения процедуры экспертной оценки, сходных с предложенными в [6]:

- предварительная подготовка (отбор) экспертов;
- распознавание вида облаков по результату визуализации;
- сравнение результата визуализации с эталонным образцом;
- определение дистанции до облачного слоя;
- определение толщины слоя;
- движение внутри облачного слоя по схеме «вход-выход»;
- определение финальной квалификационной оценки.

3.1. Предварительная подготовка экспертов. Цель предварительной подготовки экспертов – выявление ошибочных представлений о визуальных особенностях конкретного вида облаков. Для этого каждый участник должен будет распознать по эталонному образцу заданный тип облаков. Результаты эксперимента могут как сообщаться, так и скрываться от эксперта в зависимости от способа учета его мнения

по каждой процедуре оценки. Например, в случае, когда результат проверки не раскрывается, участник, имеющий худший балл, в дальнейшем должен обладать наименьшим экспертным весом (значимостью), и наоборот. С другой стороны, если существует необходимость «выравнивания» знаний субъектов о видах классифицируемых облаков, следует обнародовать результаты проверки.

3.2. Распознавание облаков по результату визуализации. Цель эксперимента заключается в том, чтобы по имеющемуся изображению облака субъект смог бы распознать его вид. При этом можно либо заранее сообщать субъекту вид облаков, и тогда он сам должен будет выставить соответствующую количественную оценку, либо ждать его заключения о виде облаков, и, соответственно, присваивать оценку теста типа «пройден-провален». Число повторений процедуры не ограничено.

По завершении эксперимента необходимо определить его конечный результат. Для этого можно воспользоваться следующей формулой усредненной оценки:

$$O(N, M, K) = \frac{1}{N \cdot W} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left[\omega_m \frac{1}{K_n} \sum_{k=1}^{K_n} o_{n,m,k} \right],$$

где O — общая оценка визуализации, N — количество тестируемых видов облаков, M — количество участников эксперимента, W — суммарный вес всех участников, K_n — количество повторов n -го теста, ω_m — вес m -го участника по результатам проверки, $o_{n,m,k}$ — k -ая оценка m -ым участником n -го вида облаков.

3.3. Сравнение по эталонному образцу. Цель эксперимента заключается в том, чтобы по имеющемуся образцу (например, фотографии) субъект предложил бы число, описывающее степень сходства между образцом и результатом визуализации. Для этого требуется вывести два изображения одновременно. При этом изображения могут быть как статичными, так и динамическими (для эталонного образца — это видеопоток).

Участникам описывается цель проведения эксперимента. Экспертам показывают по очереди пары изображений «эталон-визуализация» для каждого вида облаков, соответственно. По каждой паре выносятся вердикт о степени схожести образцов. Далее совершается перерыв, после которого процедура повторяется за исключением порядка следования пар изображений. В то же время количество пар «эталон-визуализация» и виды облаков меняться не должны. Подведение итогов эксперимента аналогично п. 3.2.

3.4. Определение дистанции до облачного слоя. Цель эксперимента заключается в том, чтобы на основе синтезируемого изображения субъект дал оценку визуально воспринимаемой дистанции до облачного слоя. В то же время, в протокол тестирования необходимо заносить приведенную оценку, вычисленную следующим образом:

$$C = \frac{D_e}{D_r} C_{\max}, \text{ если } \frac{|D_r - D_e|}{D_r} \leq \varepsilon, \text{ иначе } C = 0,$$

где C — приведенная оценка, D_e — величина расстояния до облака, воспринимаемая субъектом, D_r — реальная дистанция, C_{\max} — максимальная величина приведенной оценки; ε — величина (%) максимального отклонения результата оценки от реального значения. Реальную дистанцию до облака можно вычислить либо аналитически (как расстояние от положения наблюдателя до центра облака), либо на основе знаний о средней скорости воздушного судна и времени прохождения пути от точки начала эксперимента до переднего края облака.

Эксперимент может проводиться как для фиксированного положения наблюдателя (самолет находится на стоянке), так и для переменного (набор или снижение высоты полета). Число повторений не ограничено. Подведение итогов эксперимента аналогично п. 3.2.

3.5. Определение толщины облачного слоя. Цель эксперимента заключается в том, чтобы на основе синтезируемого изображения субъект дал оценку визуально воспринимаемой толщины облачного слоя. Приведенная оценка, в этом случае, вычисляется как:

$$C = \frac{T_e}{T_r} C_{\max}, \text{ если } \frac{|T_r - T_e|}{T_r} \leq \varepsilon, \text{ иначе } C = 0,$$

где C — приведенная оценка, T_e — толщина облачного слоя, предложенная субъектом, T_r — реальная толщина, C_{\max} — максимальная величина приведенной оценки, ε — величина (%) максимального отклонения результата оценки от реального значения. При этом реальная толщина определяется либо по приборам воздушного судна, либо считается константой. В остальном эксперимент аналогичен п. 3.4.

3.6. Движение внутри облачного слоя по схеме «вход-выход». Цель эксперимента заключается в том, чтобы на основе синтезируемого изображения субъект дал оценку соответствия между движением внутри облачного слоя на тренажере и в реальной обстановке. Эксперимент в этом случае можно разбить на две стадии. Сначала тестируется процедура «пробивания» облачного слоя на этапе набора высоты. Затем проводится полет внутри облачного слоя без выхода за его пределы. В завершение субъект должен выполнить заход на посадку через облачный слой. На каждой стадии выполняется протоколирование вы-

несенных субъектом оценок. Определение промежуточной оценки по каждой стадии аналогично п. 3.2. Финальная оценка выводится либо за счет учета наиболее «значимых» промежуточных оценок, либо вычислением их среднего значения.

3.7. Определение финальной квалификационной оценки.

Определение финальной квалификационной оценки может идти, по крайней мере, двумя путями. Во-первых, можно использовать среднее значение (либо медиану) результатов всех экспериментов в качестве показателя успешного прохождения квалификационной экспертизы. С другой стороны, можно учитывать степень важности каждого эксперимента в отдельности (его вес), и на основании этого определять статус выполнения экспертизы. Например, если принять, что эксперименты 3.2 и 3.6 являются более весомыми, чем остальные, то квалификационной оценка системы визуализации будет неудовлетворительной в случае провала хотя бы одного из них. И наоборот, экспертиза будет пройдена успешно, если результаты всех экспериментов будут не ниже заданного уровня.

4. Заключение. Визуализация облаков — важнейшая составляющая генератора изображения современного авиационного тренажера. Квалификационная оценка — главный инструмент проверки актуальности его текущего состояния. Несмотря на это, в современной практике квалификационной оценки авиационных тренажеров не существует четко обозначенных стандартов и правил для проведения оценки визуализации облаков. Тем не менее, имеющиеся методы оценки для других компонент системы визуализации позволяют предложить новые, учитывающие специфику задачи отображения облаков.

Проведенный анализ показал, что большую роль при оценке качества визуализации облаков играют субъективные критерии. В данной работе предлагается ряд новых процедур (экспериментов), позволяющих провести оценку качества визуализации облаков для авиационного тренажера. Предложены методы статистической обработки результатов экспериментов и способ вывода финальной оценки.

Дальнейшая работа заключается в практической проверке процедур для их уточнения и адаптации к реальным условиям эксплуатации авиационных тренажеров. Однако уже сейчас, на основании обсуждений данной проблемы с инструкторами летных училищ, можно сказать, что наиболее значимым аспектом обучения на авиационном тренажере является процедура полета в условиях плохой видимости. В свою очередь, это означает, что на первый план выдвигаются критерии соблюдения пространственных размеров облачности, ее простран-

ственного положения, движение сквозь облачность в режиме захода на посадку. Тем не менее, оставшиеся критерии представляются так же необходимыми для получения более объективной картины квалификационной оценки авиационного тренажера.

Литература

1. *Подлесный В.В.* Выбор метода моделирования облаков для авиационных тренажеров // МГТУ ГА: Научный Вестник, Москва, 2012. С. 105-111
2. ICAO 9625, Manual of Criteria for the Qualification of FSTDs – Aeroplanes. 3rd edition.
3. *Карасев О. Е.* Методика объективной оценки качества обработки цветных изображений // В мире научных открытий. 2010. № 6-1. С. 135-138.
4. *Цой Ю.Р., Спицын В.Г., Чернявский А.В.* Оценка визуального качества изображений с использованием интерактивной нейроразвитии // Нейроинформатика ее приложения и анализ данных: Материалы XV Всероссийского семинара, 5-7 октября 2007 г. / Под ред. А.Н. Горбана, Е.М. Миркеса. ИВМ СО РАН, Красноярск, 2007. С. 163-165.
5. *Подлесный В.В.* Метод расчета реалистичного освещения облаков в системах визуализации авиационных тренажеров // МГТУ ГА: Научный Вестник, Москва, 2012. С. 111-117.
6. *Gaggioli A., Breining R.* Perception and cognition in immersive Virtual Reality // Communications Through Virtual Technology: Identity Community and Technology in the Internet Age, IOS Press: Amsterdam. 2003. Ch. 5.

Подлесный Виктор Викторович — аспирант, ассистент кафедры №8 Информатики Санкт-Петербургского Государственного Университета Гражданской Авиации (СПб ГУГА). Область научных интересов: компьютерная графика, комплексные системы визуализации. Число научных публикаций – 4. openstealth@gmail.com; СПб ГУГА, ул. Пилотов, 38, Санкт-Петербург, 196210, РФ.

Podlesny Victor Victorovich — PhD student, assistant of Computer Science department № 8 of the St. Petersburg State University of Civil Aviation. Research interests: computer graphics, complex visualization systems. The number of scientific publications - 5. openstealth@gmail.com; St. Petersburg State University of Civil Aviation, st. Pilotov, 38, St. Petersburg, 196210, Russia.

Юша Николай Федорович — канд. техн. наук, зав. кафедрой №8 Информатики Санкт-Петербургского Государственного Университета Гражданской Авиации (СПб ГУГА). Область научных интересов: авиационные тренажеры. Число научных публикаций - 40. usha@nita.ru; СПб ГУГА, ул. Пилотов, 38, Санкт-Петербург, 196210, РФ.

Usha Nikolay Fedorovich — PhD, head of Computer Science department №8 of the St. Petersburg State University of Civil Aviation. Research interests: flight simulators. The number of publications - 40. usha@nita.ru; St. Petersburg State University of Civil Aviation, st. Pilotov, 38, St. Petersburg, 196210, Russia.

Рекомендовано СПИИРАН, директор Юсупов Р.М., чл.-корр. РАН.
Статья поступила в редакцию 14.05.2013.

РЕФЕРАТ

Подлесный В.В., Юша Н.Ф. **Выбор критериев оценки визуализации облаков для авиационного тренажера.**

Визуализация облаков в генераторе изображения авиационного тренажера является одной из самых важных и трудных задач. Особенно актуальной она становится в случае летного тренажера: наиболее востребованная ситуация для обучения – воспроизведение сложных метеоусловий.

Квалификационная оценка тренажерной системы – определяющий фактор ее ввода в эксплуатацию. В контексте системы визуализации квалификационная оценка еще и основной инструмент проверки текущего состояния тренажера. Поэтому набор критериев и процедур их применения, составляющих программу квалификационной оценки, должен быть актуальным и соответствовать текущему развитию систем визуализации.

Наиболее известным и широко применяемым стандартом проведения квалификационной оценки является стандарт ИКАО 9625. Однако в данный момент в нем отсутствуют четко обозначенные критерии оценки визуализации облаков.

Количественная оценка, в силу своей наглядности и простоты, является наиболее подходящей мерой визуального качества системы. С другой стороны, ее довольно трудно генерировать с помощью машинных методов. Таким образом, приемлемым способом получения количественной оценки является человеческое суждение об определенных характеристиках изображения. Основная проблема заключается в сложности их подбора.

По результатам проведенных исследований, предлагается следующий набор критериев: восприятие пространственных размеров облачного слоя; восприятие дистанции до облака (облачного слоя); распознавание деталей и отличительных особенностей (черт) в структуре облака; восприятие движения внутри облака; отличие между эталонным и сгенерированным образцами.

Так же предлагается несколько достаточно простых этапов проведения процедуры экспертной оценки: предварительная подготовка (отбор) экспертов; распознавание вида облаков по результату визуализации; сравнение результата визуализации с эталонным образцом; определение дистанции до облачного слоя; определение толщины слоя; движение внутри облачного слоя по схеме "вход-выход"; определение финальной квалификационной оценки.

Проведенный анализ показал, что большую роль при оценке качества визуализации облаков играют субъективные критерии. В докладе предлагается ряд новых процедур (экспериментов) и методов их статистической обработки, позволяющих провести оценку качества визуализации облаков для авиационного тренажера. Наиболее важными на данном этапе исследований представляются критерии пространственного положения, пространственных размеров и движения через облачный слой. Дальнейшая работа связана с уточнением критериев в условиях реальной эксплуатации авиационных тренажеров.

SUMMARY

Podlesny V.V., Usha N.F. **Selection of criteria for assessing clouds visualization for a flight simulator.**

Visualization of the clouds in the image generator of the aviation simulator is one of the most important and difficult tasks. It becomes particularly relevant in the case of a flight simulator: the most demanded situation for learning is to play to complex weather conditions.

The qualifying score of the simulator system is a primary factor of its commissioning. In the context of the imaging system qualification and evaluation is still the main means to check the current status of the simulator. Therefore, a set of criteria and procedures for their use, for the qualification of components of the program should be relevant and reflect the current state of imaging systems.

The most famous and widely used standard of qualification evaluation is the ICAO standard 9625. However, at the moment there are no clearly defined criteria for assessing the visualization of clouds.

Quantitative evaluation, because of its clarity and simplicity, is the most appropriate measure of the quality of the visual system. On the other hand, it is quite difficult to generate using machine techniques. Thus, acceptable way to obtain a quantitative estimate is the human judgment about certain characteristics of the image. The main problem lies in the complexity of their selection.

As the results of the research, we propose the following set of criteria: the perception of the spatial dimensions of the cloud layer, the perception of the distance to the cloud (cloud layer), recognition of parts and distinctive features (features) in the structure of clouds, the perception of motion inside the cloud, the difference between the reference and the generated samples.

It is also proposed some rather simple steps for peer review procedures: pre-treatment (selection) of experts; recognition kind of clouds on the result visualization compares the result with a reference sample, determining the distance to the cloud layer, layer thickness determination, movement within the cloud layer under the "input-output", the definition of the final qualification assessment.

The analysis showed that a large role in evaluating the quality of visualization of clouds play a subjective criteria. The report proposes a number of new procedures (experiments) and their methods of statistical analysis in place to assess the quality of visualization for clouds in flight simulator. The most important at this stage of the study represent the spatial position of the criteria, the spatial dimensions and movements through the cloud layer. Further work related to the refinement of the criteria in practical use of flight simulators.