

Применение стереоанимаций на автостереоскопических мониторах в различных областях исследований

С.В. Андреев¹, А.Е. Бондарев¹, Н.А. Бондарева¹, А.В. Бондаренко²

¹ ИППМ им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, Москва, 125047, Россия

² Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем (ГосНИИАС), ул. Викторенко 7, Москва, 125319, Россия

Аннотация

Построение стереоизображений на автостереоскопических мониторах, не требующих от зрителя использования специальных очков, становится все более распространенным в различных областях исследований. Одной из важных задач является построение комплексных стереоизображений, сочетающих в одном кадре основное изображение и необходимые сопутствующие элементы. В этом направлении проведено большое количество исследований для организации автоматического построения комплексных стереоизображений. Данный доклад рассматривает возможности реализации подобного построения в различных областях человеческой деятельности. Приведены различные области применения от инженерно-конструкторских разработок до области медицины. Построение проводилось при помощи программного комплекса Multi-view Stereomaker. Программный комплекс позволяет строить стереокадры, обладающие стереоэффектом высокого качества и оперативно варьировать различные параметры, подбирая наиболее эффективные, как для изображения основного объекта, так и для изображений сопутствующих элементов. Multi-view StereoMaker позволяет создавать набор из девяти кадров трехмерных объектов по заданной угловой стереобазе, а затем получать объединенное комплексное стереоизображение. Применение программы для автоматического построения комплексных стереоизображений позволяет сэкономить время, предоставляет возможность быстрого построения множества изображений с вариацией различных стереобаз и последующим выбором лучшего из построенных вариантов.

Ключевые слова

Построение комплексных стереоизображений, автостереоскопический монитор, программный комплекс StereoMaker, многовидовое представление.

Applying Stereo Animations to Autostereoscopic Monitors in Various Fields of Research

S.V. Andreev¹, A.E. Bondarev¹, N.A. Bondareva¹, A.V. Bondarenko²

¹ Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miuskaya sq, 4, Moscow, 125047, Russia

² State Res. Institute of Aviation Systems (GosNIAS), Victorenko str., 7, Moscow, 125319, Russia

Abstract

The construction of stereo images on autostereoscopic monitors, which do not require the viewer to use special glasses, is becoming more common in various fields of research. One of the important tasks is the construction of complex stereo images that combine the main image and the necessary accompanying elements in one frame. In this direction, a large number of studies have been carried

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

EMAIL: esa@keldysh.ru (С.В. Андреев); bond@keldysh.ru (А.Е. Бондарев); niki.99@mail.ru (Н.А. Бондарева); cod@fgosnias.ru (А.В. Бондаренко)

ORCID: 0000-0001-8029-1124 (С.В. Андреев); 0000-0003-3681-5212 (А.Е. Бондарев); 0000-0002-7586-903X (Н.А. Бондарева); 0000-0003-4765-6034 (А.В. Бондаренко)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

out to organize the automatic construction of complex stereo images. This report considers the possibilities of implementing such a construction in various areas of human activity.

Keywords

Construction of complex stereo images, autostereoscopic monitor, StereoMaker software package, multi-view.

1. Введение

Постепенное распространение стереоустановок дает возможность для исследования области стереоанимационных технологий и применения их в научных разработках. Также серьезно развивается область создания демонстрационных стереокомплексов различного типа.

Трехмерное представление тяжелого для визуального восприятия объекта помогает верифицировать вычислительную модель или сложный конструкторский узел, обеспечивает наблюдателю полноценное понимание моделируемого явления и популяризирует проведенное исследование и его результаты для социума, в том числе и для лиц, принимающих решения.

По приблизительной оценке, в настоящее время в мире действует более тысячи полномасштабных установок виртуального окружения и десятков тысяч презентационных комплексов, которые реально приносят ощутимую пользу в своих областях применения. Наиболее серьезные результаты получены на авиационных и автомобильных тренажерах, в системах подготовки экипажей торговых судов и военных кораблей, в задачах проектирования автомобилей, при исследованиях и разработке нано-технологий, тренинге хирургических операций и др. Стереоскопия активно изучается в том числе и в области медийных услуг.

Построение стереоизображений, как правило, имеет два основных целевых направления:

Первое — это презентационное направление. Стереоскопия позволяет представить результаты научной или конструкторской работы в наиболее информационно полном и доступном виде экспертным группам и лицам, принимающим решения (ЛПР).

Второе направление — исследовательское. Стереоскопия позволяет исследователям увидеть объект или физическое явление в объеме и получить более глубокое и ясное понимание (insight) изучаемого объекта, явления или процесса.

С этой точки зрения, построение стереоизображений в научно-технической сфере является достаточно универсальным инструментом, который может быть особенно эффективен в целом ряде прикладных областей от инженерно-конструкторских разработок и математического моделирования сложных объектов до применения в медицинских технологиях.

Область стереоскопии и создания стереоизображений активно изучается и разрабатывается. Специфические проблемы, возникающие при использовании системы компьютеров для генерации и визуализации составного мультиэкранного стереокадра, и методы решений таких проблем достаточно подробно описаны в [1-3]. Поначалу большинство исследований в области стереоизображений относились к задачам построения виртуальной реальности, симуляторов и тренажеров, а также обучающим системам. Однако позднее стал весьма актуальным вопрос построения презентационных комплексов, которые в том числе позволяли демонстрировать в стереоскопическом режиме результаты научных исследований. К таким работам можно отнести работы [3-10]. В работе [5] представлены результаты отображения взрыва Сверхновой в стереорежиме. Работа [7] посвящена созданию вычислительной технологии моделирования работы трехмерного узла лопастей энергоустановки при обтекании потоком вязкого сжимаемого теплопроводного газа. В настоящее время задачи построения стереоизображений рассматриваются в самых различных областях исследований [3-8].

Что касается разработки конкретных практических подходов в области совмещения изображения и текстовой информации к нему, то этой теме посвящено довольно мало работ. Здесь можно упомянуть только работу [9], описывающую проведенное в Японии исследование воспринимаемости стереоизображений шрифтов на экранах стереоскопических мобильных устройств. Проблемы дискомфорта зрительного восприятия в системах виртуальной и смешанной реальностей подробно описаны в работе [10].

Тем не менее, задачи автоматизации построения подобных изображений были решены только для самых простых случаев, вроде анаглифических изображений, и отчасти для построения классической линейной стереопары.

Для современных автостереоскопических установок, позволяющих наблюдать стереоизображение без специальных очков, разработаны методики построения изображения, но само построение стереоизображения зачастую не автоматизировано. Это делает построение стереоизображения нелегкой задачей и исключает вариацию параметров стереоизображения, которая необходима для того, чтобы создать множество изображений с различными стереобазами и выбрать из множества изображение с наилучшим стереоэффектом. Для того чтобы преодолеть эти проблемы, необходимо создание системы, позволяющей автоматически строить стереоизображение для автостереоскопических мониторов. Сложность также представляет и тот факт, что для многовидового стереопредставления основополагающим параметром является угловая стереобаза, но универсальной формулы вычисления стереобазы, обеспечивающий оптимальный стереоэффект, пока не существует, хотя работы в этом направлении активно ведутся [11-17].

2. Предыдущие работы

Построение стереоизображений возможно при помощи довольно широкого набора различных технологий: от классической стереоскопии до применения карт глубины. Выбор технологии зависит от типа имеющейся стереоустановки, области применения и непосредственно целей построения стереоизображения.

В отличие от киноиндустрии в тематике научных исследований данная область еще только развивается и подстраивается под ее нужды и специфику требований. Именно в зависимости от точности передачи исходных изображений, величины необходимого стереоэффекта, соответствия исследуемой теме определяется и выбирается та или иная технология создания стереоизображений.

Работы [18-23] по исследованию и применению различных технологий в зависимости от поставленных задач исследовательских работ, проводились в ИПМ РАН им. Келдыша на базе имеющихся стереоустановок основных двух типов.

Основным типом устройства, для работы с которым предназначена описываемая в данной работе программная система для построения стереоизображений, является автостереоскопический монитор Dimenco DM654MAS. Автостереоскопические мониторы обеспечивают показ стереоизображений без необходимости отслеживать позицию наблюдателя. Обычно такие мониторы дают возможность наблюдать стереоизображения, обеспечивая несколько фиксированных сегментов в пространстве для наблюдения. Зритель может перемещаться между сегментами, получая возможность рассматривать демонстрируемый объект в 3D с различных углов зрения. Принцип работы автостереоскопического монитора — это использование параллаксных перегородок или линз Френеля, установленных за защитным стеклом экрана, что дает ему одно из важнейших преимуществ: показ изображения не требует от зрителя наличия специальных очков или иных устройств.

Автостереоскопический монитор способен к демонстрации объекта визуализации с помощью двух способов: либо с использованием составного кадра, содержащего виды объекта визуализации под различными углами, которые образуют определенный сектор обзора — такой способ называется многовидовым представлением — либо же с использованием карт глубины. При построении комплексного стереокадра большую роль играет само построение стереосцены и размещения объектов на ней, объем, глубина объекта и даже цвет.

В работах [18,19] был подробно рассмотрен поэтапный процесс разработки такой технологии построения стереоизображений, совмещенных со стереотекстом, как многовидовое представление или multi-view. Эта технология позволяет достигать наиболее высокого стереоэффекта для визуализации результатов расчетов математического моделирования, которыми занимается ИПМ РАН им. Келдыша [7,19,21].

3. Программное обеспечение

Для построения стереокадра, обладающего стереоэффектом высокого качества, нужно неоднократно варьировать различные параметры, подбирая наиболее эффективные, как для изображения основного объекта, так и для изображений сопутствующих элементов. Эта работа в ручном режиме очень затруднительна. Применение программы для автоматического построения комплексных стереоизображений позволяет сэкономить время и человеческие ресурсы, предоставляя возможность быстрого построения множества изображений с вариацией стереобаз и последующим выбором лучшего из построенных вариантов.

Программа Multi-view StereoMaker (рисунок 1) позволяет создавать набор из девяти изображений/представлений вращения трехмерных объектов по заданной угловой стереобазе, а затем получать стереоизображение, объединенное из этих девяти изображений [22, 23].

Программа предназначена для работы с произвольными 3D объектами с заданными параметрами. Такими объектами могут быть результаты научных расчетов и сопроводительная информация к ним, такая как сопроводительные надписи, формулы, дополнительные изображения. В Multi-view StereoMaker существует реализация взаимодействия с программным комплексом Tecplot, а также с программным комплексом для генерации произвольных 3D изображений Blender.

В процессе построения стереоизображения необходимо каждый раз решать две основных задачи:

- 1) Получение наиболее четкого и выразительного стереоэффекта;
- 2) Оценка получаемого стереоэффекта.

В решении этих задач помогает автоматизированная система построения комплексного стереоизображения для автостереоскопических мониторов, позволяющая сочетать на одном кадре основное изображение и сопутствующие элементы (надписи, схемы, обозначения) в различных стереобазах и дающая пользователю возможность оперативно варьировать необходимые параметры для достижения оптимального результата и наилучшего стереоэффекта.

Основные функции программы: выбор алгоритма генерации стереоизображения для каждого объекта, возможность предварительного показа сгенерированных изображений по заданным параметрам для каждого объекта, настройка параметров наложения изображений друг на друга по заданным пользователем координатам, а также выбор пути сохранения итогового результата.

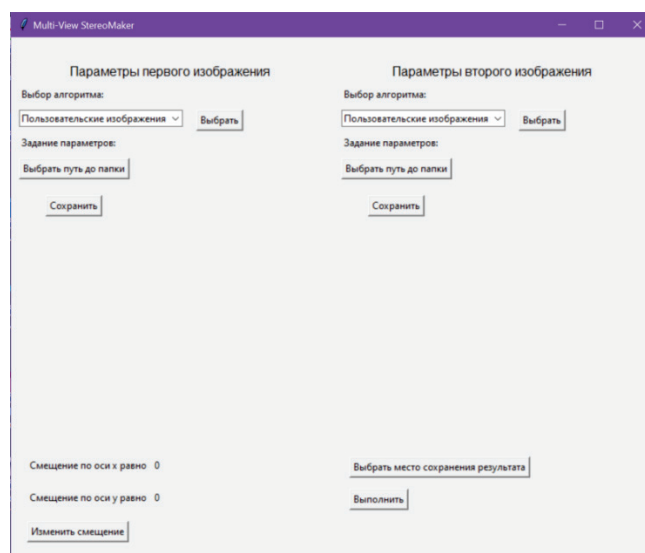


Рисунок 1 — Скриншот интерфейса программного комплекса Multi-view StereoMaker

В числе алгоритмов генерации стереоизображения существует категория «пользовательские изображения», где пользователь соответственно может указать директорию, в которой находятся его изображения. При выборе категории «Tecplot» пользователь должен указать файл

в формате .plt с необходимой моделью и при настройке необходимых параметров указать размер и ширину выходного изображения, начальный угол поворота, количество поворотов, угол поворота объекта, ось вращения. Последняя категория – алгоритм «Blender» - предполагает генерацию 3D объекта либо из исходного изображения пользователя в формате .svg, либо при помощи внутренней генерации текста, а также указание дополнительных параметров, таких как цвет и глубина 3D объекта, его масштаб, размер и ширина выходного изображения, начальный угол поворота, количество поворотов, ось вращения и т.д.

Интерфейс позволяет более детально настроить генерацию стереокадра при помощи варьирования различных параметров (рисунок 2), таких, как ось поворота, угол поворота по стереобазе, размер кадра, параметр глубины и другие.

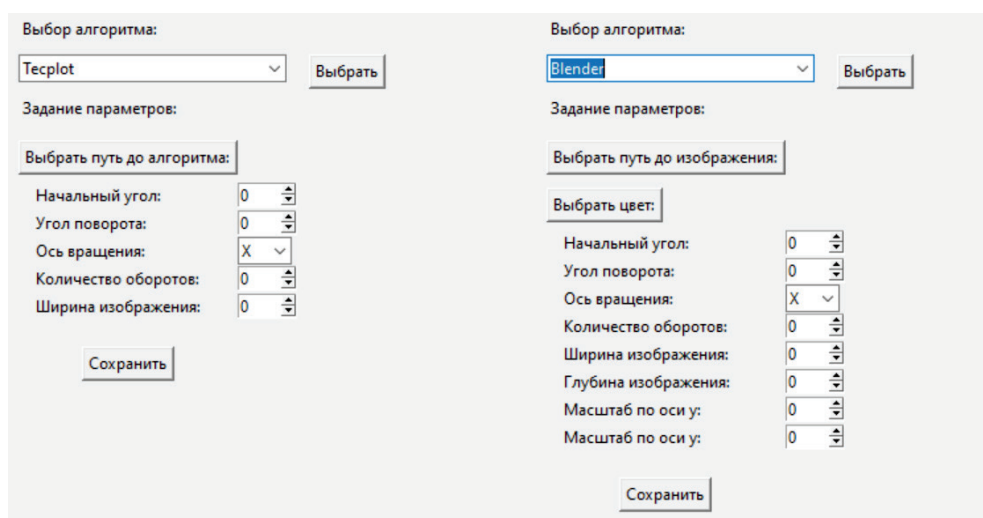


Рисунок 2 — Скриншот настроек программного комплекса Multi-view StereoMaker (часть 2)

Пользователю также доступны функции предварительного просмотра кадров и настройки наложения одного объекта на другой.

Проект Multi-view StereoMaker не является завершенным. Еще остается некоторое количество действий при построении стереоизображения, которые необходимо делать вручную. Предполагается дальнейшая разработка и улучшение программы.

4. Применение в различных областях

Успешное применение разрабатываемого комплекса Stereomaker реализуется в различных областях:

В частности одной из актуальных областей остается отображение результатов инженерно-конструкторских работ в производстве машин, деталей и различных конструкторских узлов. На рисунке 3 представлен пример узла лопастей ветроэнергетической установки (ВЭУ) с распределением силовых нагрузок на лопастях [24]. В этом случае представление вращающегося узла лопастей в виде стереоанимации позволяет конструкторам детально изучить распределение нагрузок на лопастях и найти оптимальную форму изделия с точки зрения максимизации вращающего момента.

Стерео отличается также и тем, что позволяет в некотором роде «увидеть незримое» за счет объемного зрения. Результаты расчетов математического моделирования порой имеют достаточно сложный для восприятия вид, который не всегда понятен зрителю даже в виде 3D модели. Стерео позволяет облегчить восприятие отвлеченных от реальности объектов, которые, тем не менее, оказываются крайне важны для понимания закономерностей и решения прикладных задач. Эта функция особенно проявляется при построении анимированных стереоизображений (например, вращении объекта), что дает возможность изучить представляемый объект со всех сторон в объемном реалистичном виде.

Подобным образом стерео применялось в задачах прикладной аэрогазодинамики.

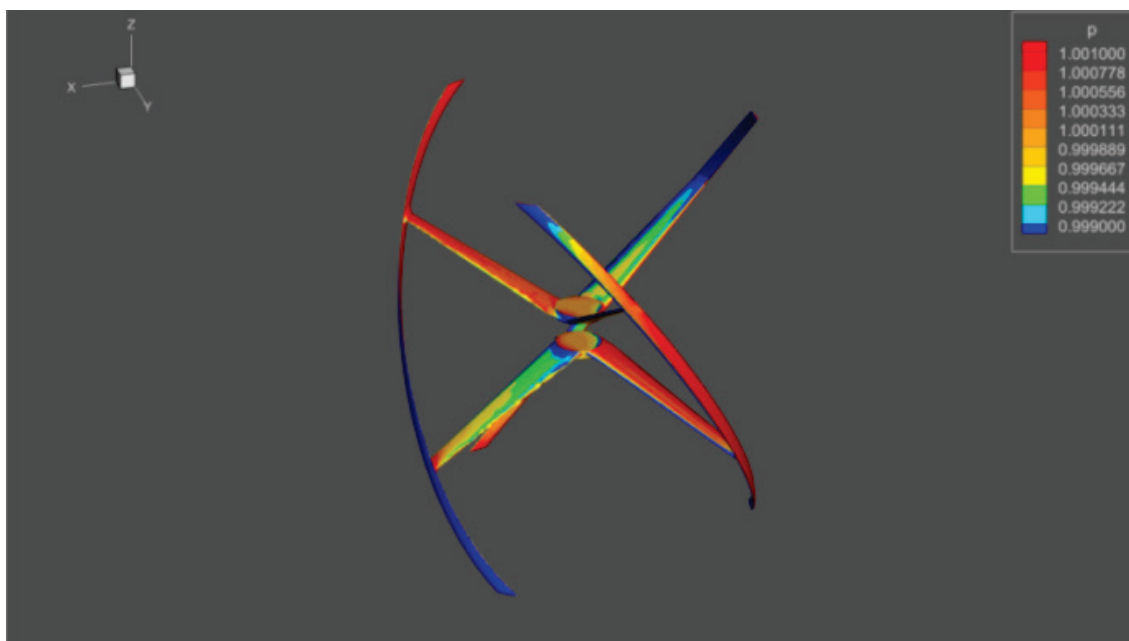


Рисунок 3 — Пример узла лопастей ветроэнергетической установки (ВЭУ) с распределением силовых нагрузок на лопастях [24]

На рисунке 4 представлено изображение результатов моделирования сверхзвукового обтекания конуса под углом атаки с соответствующей надписью. Это один из результатов проведенных ранее исследований — многовидовое изображение результатов моделирования сверхзвукового обтекания конуса под углом атаки с соответствующей надписью [23]. Здесь совмещены само изображение смоделированного конуса и отдельно надписи к нему. Каждый из них повернут на свой экспериментально выявленный угол. Как показано на рисунке, далее составляется матрица изображений, которые в свою очередь составляют единое стереоизображение. В конечном итоге надпись располагалась поверх конуса, однако за его острием, которое в свою очередь воспринималось зрителями, как выступающее из экрана на несколько сантиметров.

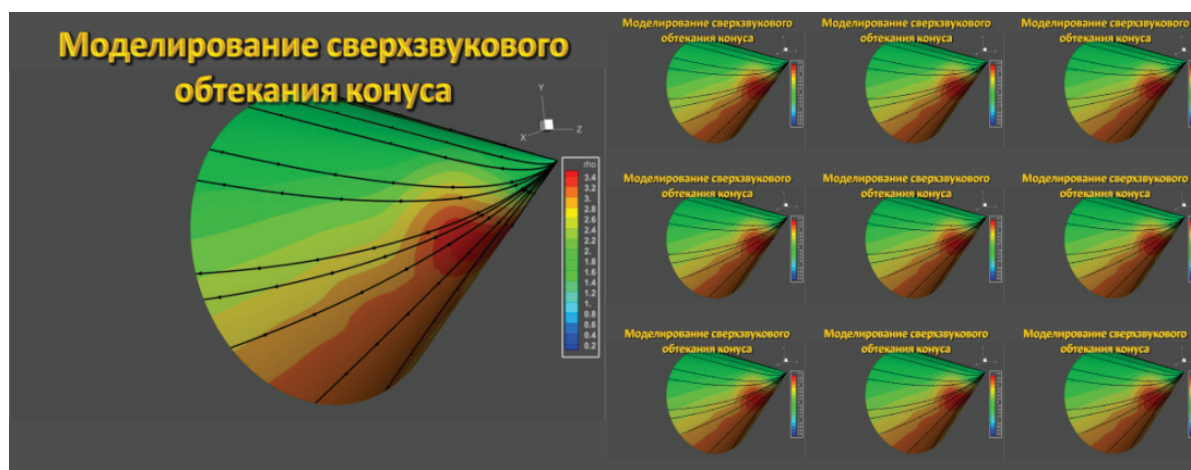


Рисунок 4 — Изображение результатов моделирования сверхзвукового обтекания конуса с соответствующей подписью [23]

На рисунке 5 представлено аналогичное предыдущему рисунку изображение сверхзвукового обтекания полусферы. Наглядное представление подобной физической картины позволяет анализировать само физическое течение вокруг объекта и выявлять артефакты численного моделирования, если таковые появятся.

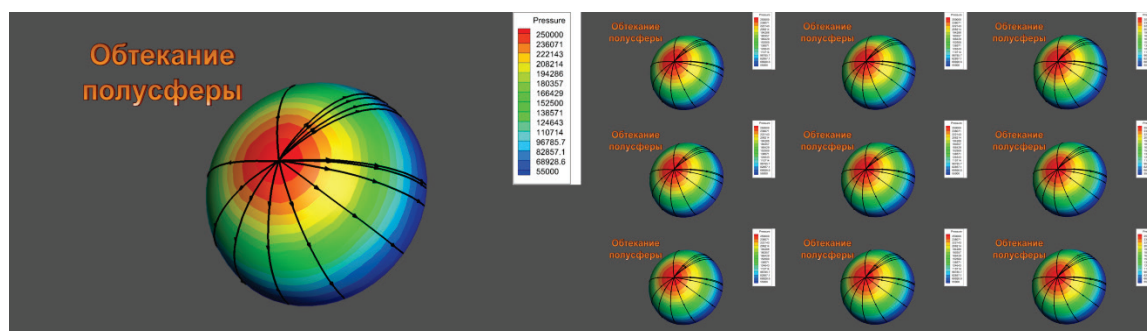


Рисунок 5 — Сверхзвуковое обтекание полусферы

На рисунке 6 изображена сложная картина вихрей, образующихся при обтекании пары крыльев сверхзвуковым потоком. Поле данных для построения стереоотображения получено из результатов численных исследований, представленных в работе [25]. В статье [25] представлено применение методов визуализации для анализа и сравнения взаимодействия пары вихрей при сверхзвуковом числе Маха набегающего потока. Для создания визуальной картины использовались критерий максимальной вихревой плотности и критерий λ_2 . Пара сверхзвуковых вихрей генерировалась двумя коаксиальными прямыми крыльями с острыми передней, боковой и задней кромками. Рассматривались две конфигурации: пара вихрей встречного вращения и пара вихрей со-вращения.

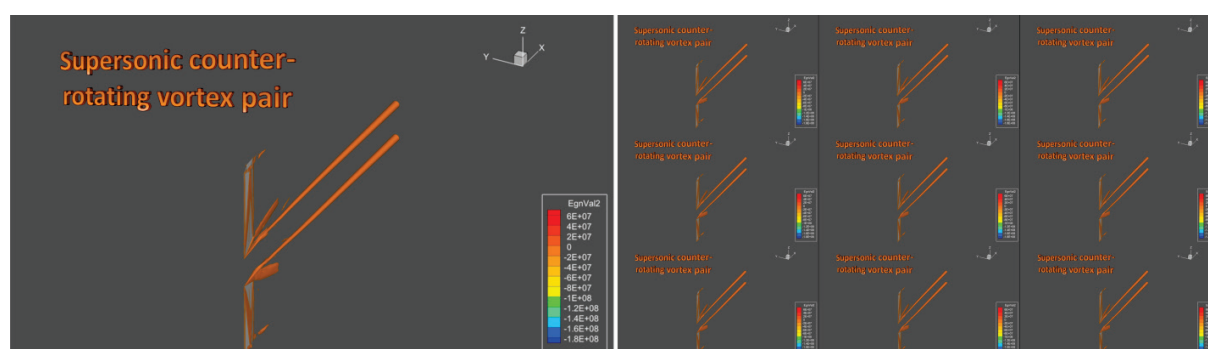


Рисунок 6 — Supersonic counter-rotating vortex pair

Стереоскопия активно применяется в научных исследованиях. Стереоотображение визуальных образов по результатам расчетов позволяет представить результаты инженерно-конструкторской или научно-исследовательской работы в наиболее эффектно и ярком виде.

К примеру, на рисунке 7 представлен результат расчетов реальной ошибки для солвера rCF, подобно тому, как это описано в работе [21].

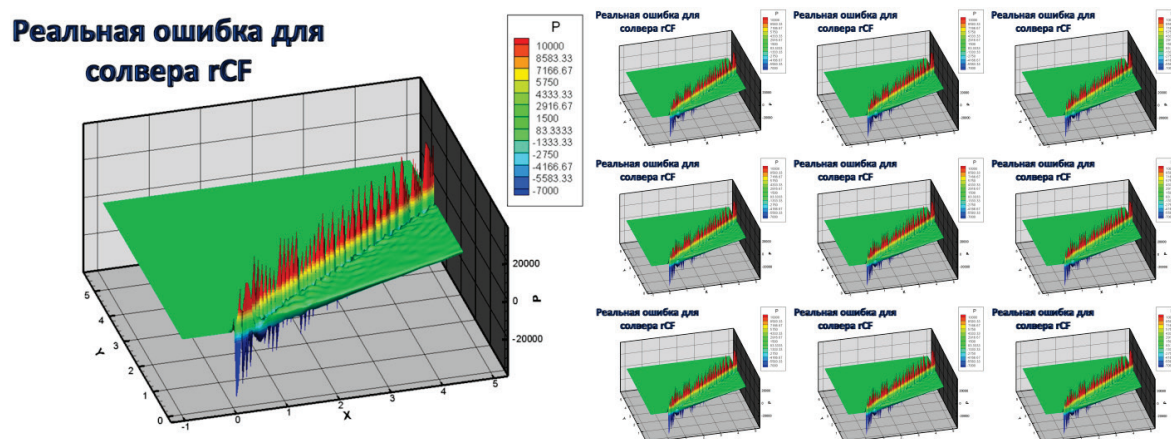


Рисунок 7 — Реальная ошибка для солвера rCF

Стереоскопия может применяться и при медицинских исследованиях. Так, например, в работе [26] визуализируются данные компьютерной томографии, в том числе и в стереоотображении. Подобное визуальное представление позволяет специалистам в медицине более эффективно выявлять патологии у пациентов.

Также предполагается возможность использования стереоотображения в челюстно-лицевой хирургии для демонстрации пациентам будущих моделей изменений и более точного прогноза по назначенному лечению. Это позволит более точно корректировать действия врача и достигать взаимопонимания с пациентом.

На рисунке 8 представлены результаты компьютерной томографии черепно-лицевого отдела пациента, визуализированные в объемном виде на экране автостереоскопического монитора.

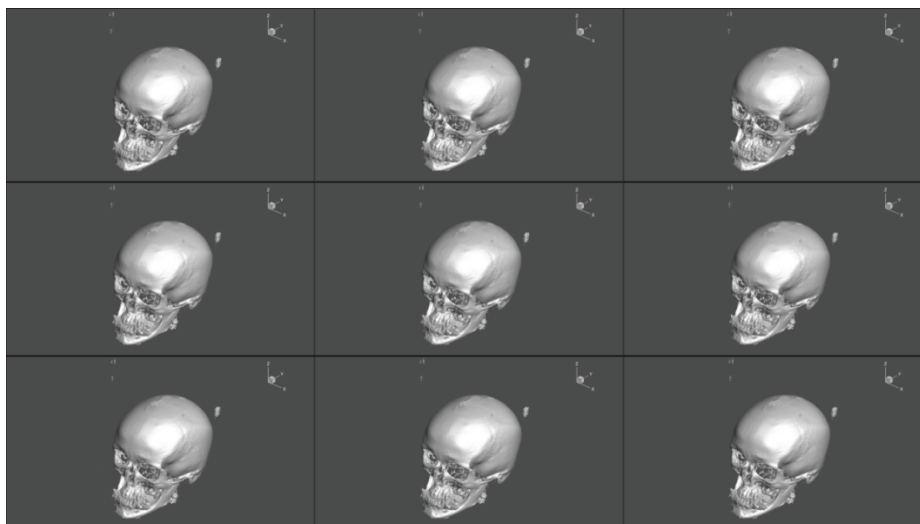


Рисунок 8 — Составной кадр для автостереоскопического монитора для визуализации результатов КТ

5. Заключение

Данная работа является продолжением цикла работ, посвященных реализации проекта по изучению и построению стереоотображений результатов решения задач математического моделирования

Представлены результаты работ по построению на автостереоскопическом мониторе с помощью многовидового представления. Построение стереокадров проводилось в ранее разработанном режиме совмещения в одном стереокадре основного объекта изображения и соответствующих текстовых надписей и обозначений. Построенные стереокадры предоставляют исследователю возможность глубокого и тщательного визуального анализа полученных результатов.

Ведется работа по расширению функциональности Stereomaker. Одновременно с этим ведется работа по привлечению данных из различных областей человеческой деятельности и применению комплекса к этим данным, количество которых продолжает расширяться. Расширение областей применения стереокомплекса ведет к улучшению его пользовательских функций и необходимой для пользователя доработке модулей комплекса.

6. Список источников

- [1] Andreev S.V. [et al]. Synthesis of photorealistic three-dimensional images in modern presentation systems // Software&Systems, 2007. N 3. P. 37-40.
- [2] Vandanov V.G. [et al]. Hardware-software complex of 3D presentations based on a virtual studio and virtual environment // Proceedings of the 1-st international conference «3D visualization of scientific, technical and social reality. Cluster technologies of modeling». Izhevsk, 2009, P.73-77.

- [3] Andreev S., Filina A. Using stereo presentations for visualization of scientific calculations results // *Scientific Visualization*. 2012. v.4. № 1. P.12-21.
- [4] Andreev S.V. [et al]. Generation of Stereo-Presentations in Photorealistic Rendering and Scientific Visualization // *Keldysh Institute preprints*, 2010, N 61. P.16. <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-61>.
- [5] Mezhenin A.V., Tozik V.G. 3D Visualization using the stereo image effect // *Proceedings of the 2-nd international conference «3D visualization of scientific, technical and social reality. Cluster technologies of modeling» — Izhevsk*, 2010.
- [6] Mikhaylyuk M.V., Huraskin I.A. Synthesis of stereo images for virtual reality systems using an optical tracking system // *Software&Systems*. 2006. N 3. P. 10-14.
- [7] Andreev S.V. [et al] Modelling and visualisation of blade assembly with complicated shape for power turbine / *Scientific Visualization*. 2015. Vol. 7. N 4. P. 1-12.
- [8] Torgashev M.A., P.Y. Timokhin. The technology of stereo video files' synthesis for the system of 3D real-time visualization. // *Software Products and Systems*. 2012. N 3. P. 74-80.
- [9] Hiromu Ishio [et al]. Visibility Experiment and Evaluation of 3D Character Representation on Mobile Displays // *HCII, CCIS 174*, 2011, P. 46-51.
- [10] Zhdanov A.D., Zhdanov D.D., Bogdanov N.N., Potemin I.S., Galaktionov V.A., Sorokin M.I. Discomfort of Visual Perception in Virtual and Mixed Reality Systems // *Programming and Computer Software*. 2019. Vol. 45. N 4. P. 147-155. DOI: 10.1134/S036176881904011X.
- [11] Zhou J., Jiang G., Mao X., Yu M., Shao F., Peng Z. [et al]. Subjective quality analyses of stereoscopic images in 3DTV system. // *Visual Communications and Image Processing VCIP*. IEEE, 2011. P. 1-4.
- [12] Lee J.S., Goldmann L., Ebrahimi T. Paired comparison-based subjective quality assessment of stereoscopic images // *Multimedia tools and applications*. 2013. Vol. 67. N 1. P. 31-48.
- [13] IJsselsteijn W.A., de Ridder H., Vliegen J. Subjective evaluation of stereoscopic images: effects of camera parameters and display duration // *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions*. 2000. Vol. 10. N 2. P. 225-233.
- [14] Wöpping M. Viewing comfort with stereoscopic pictures: An experimental study on the subjective effects of disparity magnitude and depth of focus // *Journal of the society for information display*. 1995. Vol. 3. N 3. P. 101-103.
- [15] Akhter R., Sazzad Z.P., Horita Y., Baltes J. No-reference stereoscopic image quality assessment. // *IS&T/SPIE Electronic Imaging*. International Society for Optics and Photonics. 2010. P. 75240T-75240T.
- [16] Boev A., Gotchev A., Egiazarian K., Aksay A., Aka G.B. Towards compound stereo-video quality metric: a specific encoder-based framework // *Image Analysis and Interpretation, IEEE Southwest Symposium*. 2006. P. 218-222.
- [17] You J., Xing L., Perkins A., Wang X. Perceptual quality assessment for stereoscopic images based on 2D image quality metrics and disparity analysis // *Proc. of International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*. Scottsdale, AZ, USA, 2010.
- [18] Andreev S.V., Bondareva N.A. Constructing a representation of textual information in stereo presentations // *Proceedings of the 28-th International Conference of Computer Graphics and Vision GraphiCon-2018*. Tomsk, 2018. P. 86-89.
- [19] Andreev S.V., Bondarev A.E., Galaktionov V.A., Bondareva N.A. The problems of stereo animations construction on modern stereo devices // *Scientific Visualization*. 2018. Vol. 10. N 4. P. 40-52. DOI: 10.26583/sv.10.4.04.
- [20] Andreev S.V., Bondareva N.A., Denisov E.Yu. Stereo Presentations Problems of Textual information on an Autostereoscopic Monitor // *Scientific Visualization*. 2019. Vol. 11. N 4. P. 90-101. DOI: 10.26583/sv.11.4.08.
- [21] Andreev S.V., Bondarev A.E., Bondareva N.A. Stereo images of error surfaces in problems of numerical methods verification // *Scientific Visualization*. 2020. Vol. 12. N 2. P. 151-157. DOI: 10.26583/sv.12.2.12.
- [22] Andreev S.V., Bondarev A.E., Bondareva N.A. Stereoscopic construction of textual information in presentations of research results on an autostereoscopic monitor // *Scientific Visualization 2020* 12.1: 132 - 139, DOI: 10.26583/sv.12.1.12.

- [23] Andreev S.V., Bondareva N.A., Bondarev A.E. Expansion of the Functions of the Multi-View Stereomaker Software for Automatic Construction of Complex Stereo Images // Scientific Visualization. 2021. Vol. 13. N 2. P. 149-156. DOI: 10.26583/sv.13.2.10.
- [24] Андреев С.В., и др. Моделирование и визуализация работы энергетической установки сложной формы // Математическое моделирование. 2016. Т.28. N 9. С.125-136.
- [25] T.V. Konstantinovskaya, V.E. Borisov, A.E. Lutsky. Numerical Modeling and Visualization of Supersonic Tip Vortices (2022). Scientific Visualization 14.1: 109-120, DOI: 10.26583/sv.14.1.09.
- [26] Kobets K.K., Andreev S.V., Bondarev A.E. Stereoanimation in Maxillofacial Surgery // Scientific Visualization. 2022. Vol. 14. N 1. P. 121-133. DOI: 10.26583/sv.14.1.10.