ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 156 за 2018 г.

ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Андреев С.В., Бондарев А.Е.

Построение стереоанимаций на современных стереоустановках активного и пассивного типов

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Андреев С.В., Бондарев А.Е. Построение стереоанимаций на современных стереоустановках активного и пассивного типов // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 156. 19 с. doi:10.20948/prepr-2018-156
URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-156

О р д е н а Л е н и н а
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В. Келдыша
Р о с с и й с к о й а к а д е м и и н а у к

С.В. Андреев, А.Е. Бондарев

Построение стереоанимаций на современных стереоустановках активного и пассивного типов

Москва – 2018

Андреев С.В., Бондарев А.Е.

Построение стереоанимаций на современных стереоустановках активного и пассивного типов

Работа рассматривает общие и специфические проблемы построения стереоизображений и стереоанимаций для современных стереоустановок активного и пассивного типов. Рассматриваются различные способы построения стереоизображений с учетом реализованного практического опыта. Приводятся иллюстрации для тестовых изображений.

Ключевые слова: стереоустановки, презентационные комплексы, генерация объемных изображений.

Sergey Valerievich Andreev, Alexander Evgenyevich Bondarev

The construction of stereo animations on modern stereo devices of active and passive types

The work examines the general and specific problems of constructing stereo images and stereo animations for modern stereosets of active and passive types. Various methods for constructing stereo images are considered, taking into account the realized practical experience. The illustrations for test images are given.

Key words: stereo devices, presentation complexes, generation of three-dimensional images.

Оглавление

Введение ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
1. Базовые понятия стереоскопии 3
2. Современное презентационное оборудование 6
3. Генерация объемного представления с использованием карт глубины 7
4. Составные многовидовые кадры 10
5. Стереоизображения результатов математического моделирования 12
6. Практические результаты 14
Заключение 18
Библиографический список ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Введение

Человеку по своей природе свойственно восприятие окружающего мира в объемном, стереоскопическом виде, то есть способность одновременно четко видеть объекты нашего окружения двумя глазами одновременно. И, соответственно, если мы хотим добиться полной реалистичности визуализации объекта применительно к результатам расчетов, необходимо учитывать особенность бинокулярного стереоскопического восприятия человеком визуальной информации. При представлении визуальной информации в стереоскопическом, объемном виде, естественном для восприятия человека, особенно результатов расчетов объекта, не существующего в реальности, данная информация будет восприниматься и усваиваться зрителем намного быстрее и продуктивнее, чем визуализация в плоском, двумерном виде на экране, так как восприятие будет происходить на уровне подсознания, с автоматической оценкой мозгом формы объекта визуализации и расстояния до него на фоне других объектов, всех преимуществ и недостатков сгенерированного объекта, что позволяет почти автоматически найти возможные ошибки расчетов, проблемы и пути для их решения.

В настоящее время получили широкое распространение системы высокотехнологичного мультимедийного презентационного оборудования, предназначенные для проведения разного рода деловых, научных и учебных мероприятий — конференций, совещаний, семинаров. Подобные аппаратно-программные решения используются в специализированных демонстрационных и конференц-залах, в кабинетах руководителей, учебных аудиториях и в диспетчерских центрах. При этом основное назначение таких систем всегда одно — это создание наиболее комфортных условий для восприятия демонстрируемого материала при проведении деловых, научных и учебных мероприятий и повышение качества их организации в целом. И, следовательно, возникает потребность демонстрации изображений в таких системах в объемном, стереоскопическом представлении.

Данная работа рассматривает общие и специфические проблемы генерации изображений и анимаций в объемном виде для современных стереоустановок активного и пассивного типов и обобщает практический опыт построения стереоизображений для конкретных устройств, которыми располагает ИПМ им.М.В.Келдыша РАН.

1. Базовые понятия стереоскопии

Конвергенция

Конвергенцией называется угол, сформированный нашими глазами и наблюдаемым объектом. Чем ближе находится объект наблюдения, тем больше угол, то есть выше конвергенция, и наоборот: чем дальше находится объект наблюдения, тем меньше угол и ниже конвергенция.

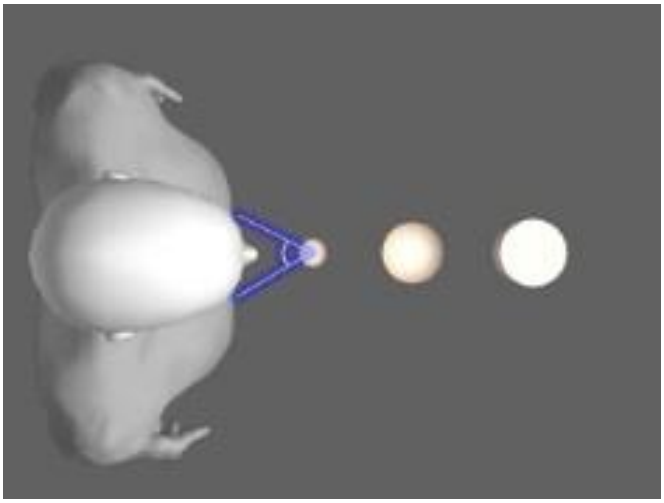

Рис. 1. Большая конвергенция. Объект находится близко к наблюдателю.

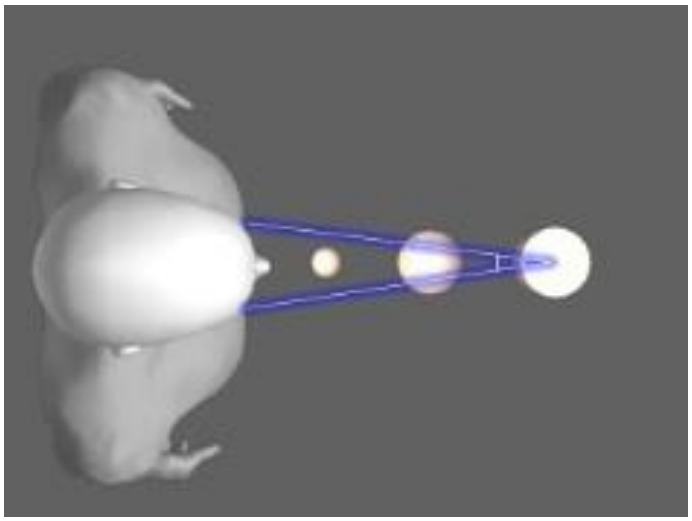

Рис. 2. Меньшая конвергенция. Наблюдатель обозревает более дальний объект.

Необходимо отметить, что если конвергенция более шести градусов, это означает, что объект находится очень близко к наблюдателю. При этом наблюдатель будет испытывать значительный дискомфорт из-за физиологического устройства глаз. В противоположность, если величина конвергенции совсем мала, это означает, что объект находится слишком далеко от наблюдателя и стереоэффект почти полностью теряется. Эти физиологические особенности бинокулярного зрения человека необходимо учитывать при генерации стереоизображений.

Стереоэффект

Зрительный стереоэффект – это ощущение протяжённости пространства и рельефности, возникающее при рассматривании реальных объектов, стереопар, стереофотографий, стереоизображений и голограмм.

Стереоизображение

Стереоизображение – это картина или видеоряд, использующие два отдельных изображения, позволяющих достичь стереоэффекта.

Стереопара

Стереопара – это пара изображений для правого и левого глаза, образующая стереоизображение в конкретный фиксированный момент времени.

Линейная и угловая стереобаза

Предположим, у нас есть некоторое изображение объекта и мы хотим на его основе создать стереоизображение. Нам следует представить два вида данного изображения с различных ракурсов. Сделать это можно двумя способами.

При первом способе создания стереопар (изображений для левого и правого глаза) камера смещается параллельно на расстояние, называемое базой стереосъемки (линейная стереобаза).

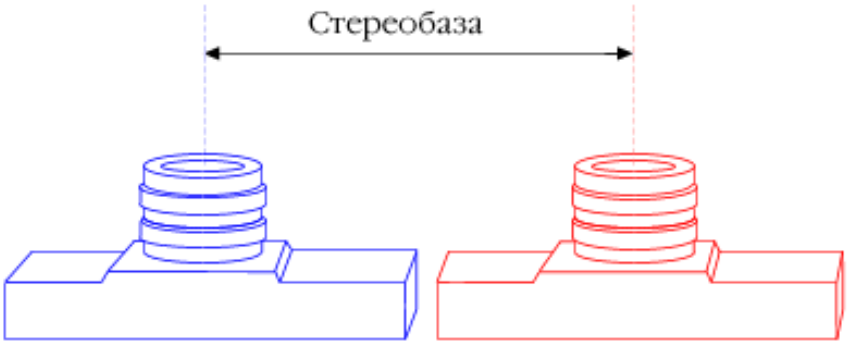

Рис. 3. Линейная стереобаза.

При втором способе камера поворачивается вокруг снимаемого предмета на определенный угол. Этот угол называется угловой стереобазой.

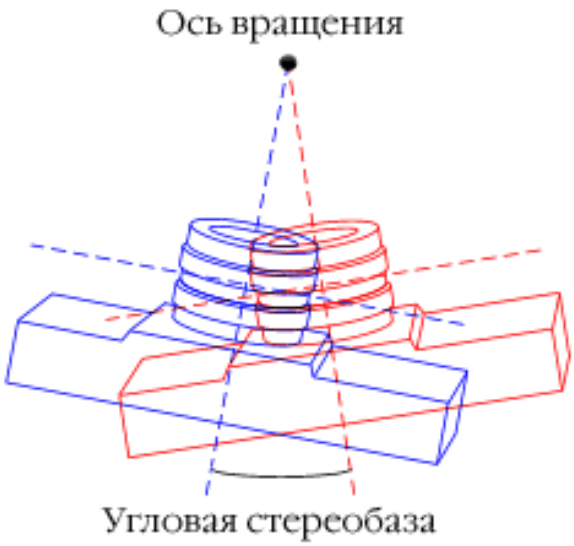

Рис. 4. Угловая стереобаза.

Таким образом, при построения стереопары для изменения ракурса необходимо выбрать и использовать поворот камеры или параллельное смещение и оценить соответственно угловую или линейную стереобазу [1].

Параллакс

Параллакс (греч. Parallaxis – уклонение) – это кажущееся смещение рассматриваемого объекта, вызванное изменением точки наблюдения. Если смотреть на объект одним глазом, затем другим, то можно увидеть, что объекты, расположенные на расстоянии, смещаются относительно друг друга. Это смещение и называется параллаксом. Благодаря этому параллаксу человек получает представление о взаимном расположении объектов и объемности сцены по отношению к плоскости экрана [1].

2. Современное презентационное оборудование

В целом системы демонстрации изображений в объемном представлении (стереоустановки) можно разделить на два основных вида: пассивные и активные. Пассивные комплексы предназначены для демонстрации материала по заранее намеченному сценарию, когда зритель лишен возможности повлиять на процесс показа; активные (или интерактивные) комплексы отличаются тем, что зритель сам каким-либо образом влияет на процесс показа демонстрируемого материала.

Общим для всех этих систем является наличие большого экрана (и даже нескольких экранов), таким образом, типичного разрешения монитора чаще всего не хватает для генерации кадра, выводимого на экран стереоустановки. Кроме того, такие системы должны обеспечивать показ демонстрации в объемном представлении, то есть в режиме стерео, когда каждый кадр

генерируется отдельно для левого и правого глаза (правый и левый стереоканал). Таким образом, требования к вычислительным ресурсам для генерации кадров возрастают вдвое. Часто такие активные стереоустановки управляются не отдельным компьютером, мощности которого не хватает для генерации кадров в режиме реального времени, а системой компьютеров, объединенных в локальную сеть и обеспечивающих вывод составного стереокадра на несколько экранов. Специфические проблемы, возникающие при использовании системы компьютеров для генерации и визуализации составного мультиэкранного стереокадра, и методы решений таких проблем достаточно подробно описаны в работе [2].

Данная работа относится к общей тематике построения стереоизображений и стереоанимаций результатов математического моделирования сложных технических объектов и физических процессов в сплошных средах и представляет собой практический опыт построения стереоанимаций для конкретных устройств, которыми располагает ИПМ им.М.В.Келдыша РАН. Первый тип устройства представляет собой 3D проекционную стереосистему для показа стереопрезентаций, обучающих приложений, графики и фильмов. Включает графическую станцию, проекционную подсистему из двух проекторов (со специализированным экраном), акустическую систему. Данная система является классической стереографической системой с использованием двух проекторов, экрана и очков линейной поляризации.

Второй тип устройства представляет собой автостереоскопический монитор Dimenco DM654MAS [3]. Автостереоскопические мониторы обеспечивают показ стереоизображений без необходимости отслеживать позицию наблюдателя, то есть нет необходимости подстраивать оборудование в зависимости от положения наблюдателя – как правило, такие мониторы позволяют наблюдать стереоизображения, обеспечивая несколько фиксированных сегментов в пространстве для наблюдения, причем зритель может перемещаться из одного сегмента в другой, получая возможность рассматривать демонстрируемый объект в 3D с различных углов зрения.

Когда голова наблюдателя находится в определенной позиции перед автостереоскопическим монитором, его правый и левый глаз получают различные изображения (стереопара). Таким образом, создается убедительная иллюзия 3D глубины.

Автостереоскопические мониторы имеют несколько зон просмотра, обеспечивая 3D показ для нескольких зрителей одновременно, хотя минусом этой технологии является существование «мертвых зон», где стерео не обеспечивается и зритель видит обычную двухмерную картинку.

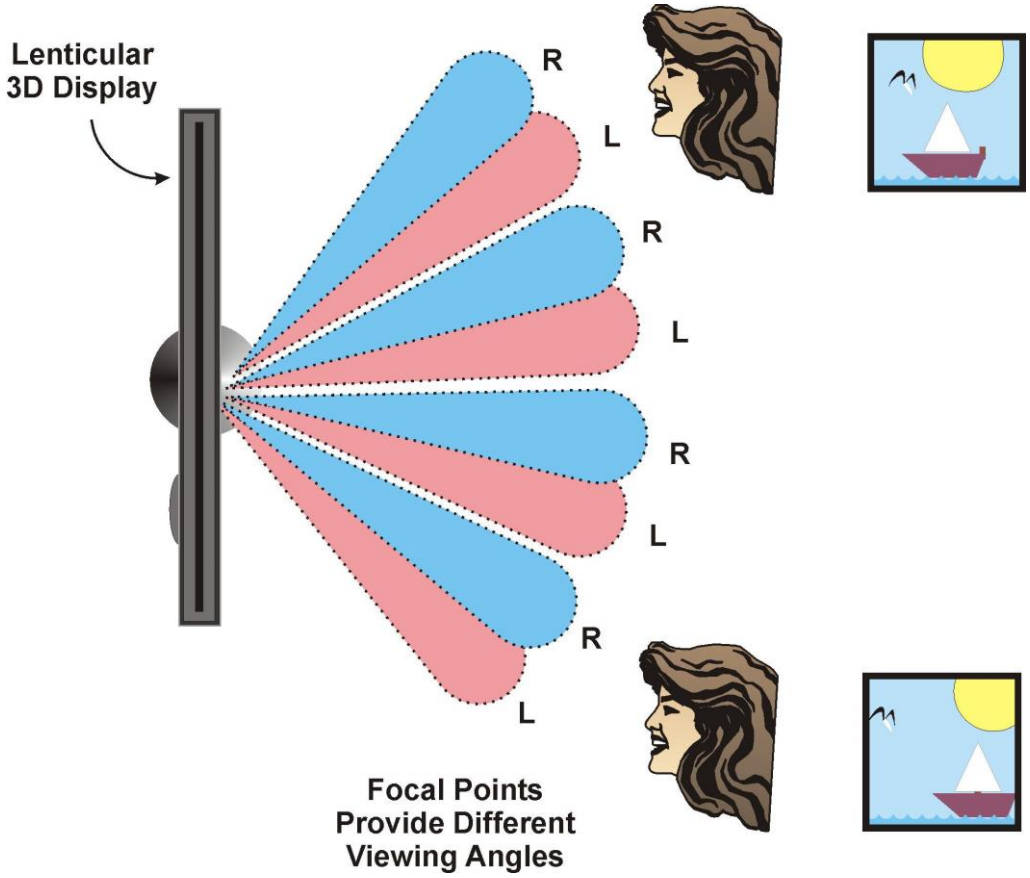

Рис. 5. Принцип работы автостереоскопического монитора.

Техническая сторона принципа работы автостереоскопического оборудования – это использование параллаксных перегородок или линз Френеля, установленных за защитным стеклом экрана.

Параллаксные перегородки – это устройство, размещенное перед источником изображения, таким как жидкокристаллический монитор, и позволяющее устройству показывать стереоскопические или мультископические изображения без необходимости использования специальных очков. Параллаксные перегородки используются в основном производителями из Азии (Япония, Тайвань, Китай и др.)

Линзы Френеля. Метод интегральной фотографии, использующий двумерный набор множества крошечных линз для показа трехмерных картинок, был разработан Габриэлем Липпманом в 1908 году. Интегральная фотография позволяет создавать автостереоскопический показ объектов и сцен, но технология показа потребовала создания огромного количества высококачественных микроскопических линз, что ограничивало ее применение в то время. Позднее эта технология была использована для создания автостереоскопических мониторов, впервые опробованная компанией Philips в 2009 году при создании монитора с разрешением 3840x2160 пикселей и 46 секторами обзора. Многие другие европейские компании также начали

использовать линзы Френеля в производстве своих моделей автостереоскопических мониторов.

3. Генерация объемного представления с использованием карт глубины

При создании многоракурсного видео для автостереоскопических мониторов возникает потребность хранения большого количества данных – видеопотоков для каждого из ракурсов. Даже с учетом того, что современные методы цифрового видеосжатия позволяют эффективно учитывать временную и пространственную избыточность, объем данных при многоракурсном видео возрастет многократно. Особенно это критично для автостереоскопических мониторов.

Один из эффективных способов решения проблемы большого объема данных состоит в использовании так называемого формата 2D+Z. Любому обычному (2D) изображению можно сопоставить информацию об удаленности каждого пиксела от наблюдателя (*Z*-координату). Такое представление изображения называют «формат 2D+Z», а плоскость координат *Z* – «картой глубины». Ее можно представить в виде монохромного изображения. В карте глубины градациями серого обозначается удалённость точек изображения от наблюдателя. То есть самая ближняя точка к зрителю станет белой, а самая дальняя – черной. На рисунке ниже показан пример оригинального изображения и его карты глубины.

Рис. 6. Оригинальное изображение и его карта глубины.

Формат 2D+Z является дальнейшим развитием концепции представления информации об изображении по компонентам. Широко известно, что и в аналоговом и в цифровом телевидении изображение формируется из яркости и двух цветовых составляющих. Добавление карты глубины к этим составляющим, характеризующей объемность изображения, является вполне логичным развитием и вполне согласуется с принципами совместимости.

Идея, лежащая в основе построения карты глубины по стереопаре, достаточно очевидна. Для каждой точки на одном изображении выполняется поиск парной ей точки на другом изображении. А по паре соответствующих точек можно определить координаты их прообраза в трехмерном пространстве. Имея же трехмерные координаты прообраза, глубина вычисляется как расстояние до плоскости камеры.

Парную точку нужно искать на эпиполярной линии (см. [4]). Соответственно, для упрощения поиска изображения выравнивают так, чтобы все эпиполярные линии были параллельны сторонам изображения (обычно горизонтальны).

Более того, изображения выравнивают так, чтобы для точки с координатами (x0, y0) соответствующая ей эпиполярная линия задавалась уравнением x = x0, тогда для каждой точки соответствующую ей парную точку нужно искать в той же строчке на изображении со второй камеры. Такой процесс выравнивания изображений называют ректификацией (rectification).

После того как изображения ректифицированы, выполняют поиск соответствующих пар точек. Наиболее простой метод состоит в следующем: для каждого пиксела левой картинки с координатами (x0, y0) выполняется поиск пиксела на правой картинке. При этом предполагается, что пиксел на правой картинке должен иметь координаты (x0 – d, y0), где d – величина, называемая несоответствие/смещение (disparity). Поиск соответствующего пиксела выполняется путем вычисления максимума функции отклика, в качестве которой может выступать, например, корреляция окрестностей пикселей. В результате получается карта смещений (disparity map).

Значения глубины обратно пропорциональны величине смещения пикселей. Если использовать обозначения с левой половины рисунка выше, то зависимость между disparity и глубиной можно выразить следующим способом:

$$\frac{T-d}{Z-f}=\frac{T}{Z}\rightarrow z=\frac{fT}{d} \quad .$$

Это один из методов построения карты глубины. Необходимо отметить, что данный метод при использовании его на автостереоскопическом мониторе предоставляет больше возможностей для зрителя, по сравнению с обычной стереоанимацией, так как наблюдатель получает возможность рассмотреть изображение объекта под разными углами, используя логику процессора монитора.

4. Составные многовидовые кадры

Автостереоскопический монитор также обладает возможностью демонстрации объекта визуализации с использованием составного кадра, содержащего виды объекта визуализации под различными углами, образующими определенный сектор обзора. Обычно это девять видов (см. рисунок).

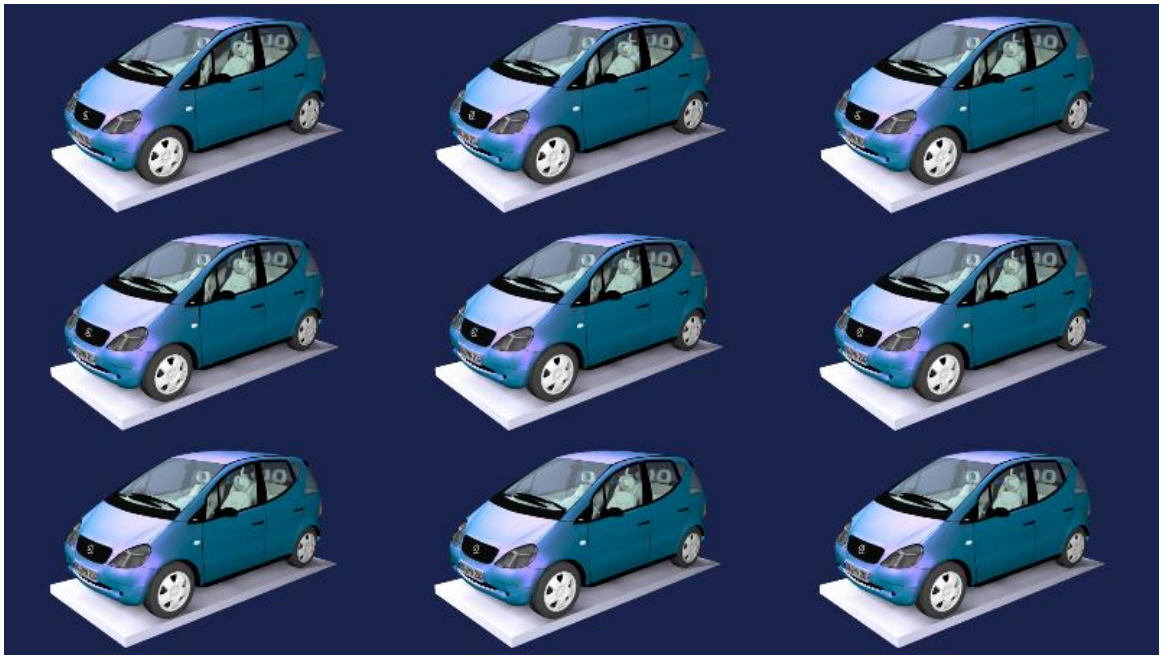

Рис. 7. Составной кадр автостереоскопического монитора.

Необходимо отметить, что данный вид представления объекта визуализации в объемном виде на экране автостереоскопического монитора обеспечивает максимальное качество по сравнению с обычным стереоскопическим представлением и даже методом с использованием карт глубины, позволяя рассматривать объект в достаточно широком секторе обзора.

При этом эти девять видов образуют восемь стереопар ([1|2], [2|3], [3|4],…, [8|9]), и наблюдатель может обозревать только одну из стереопар в зависимости от его положения в том или ином угловом секторе наблюдения. Перемещаясь из сектора в сектор, наблюдатель получает объемную информацию об объекте, используя все девять ракурсов, то есть как бы оглядывая объект визуализации с разных сторон.

Заметим при этом, что фактически происходит «облет камеры» вокруг объекта, рассмотренный в работах [4-6], и, следовательно, тот же метод уменьшения необходимого для визуализации моно кадров вполне применим.

Действительно, к примеру, для случая с величиной угловой стереобазы в 0.5 градуса и с последовательным углом смещения вокруг оси *OZ* мы получаем,

что первый кадр состоит из последовательности ракурсов с последовательным изменением угла облета камеры:

1	2	3
4	5	6
7	8	9

второй кадр будет иметь вид:

2	3	4
5	6	7
8	9	10

соответственно, третий кадр будет иметь вид:

3	4	5
6	7	8
9	10	11

и так далее. Последний кадр, имеющий вид:

360	1	2
3	4	5
6	7	8

позволит зациклить последовательность ракурсов, и, имея всего 360 моно кадров, можно получить сколь угодно долгое вращение объекта визуализации в многоракурсном представлении на экране автостереоскопического монитора.

5. Стереоизображения результатов математического моделирования

Анализ работ в области практического построения стереоизображений за последние несколько лет показывает, что работ в этой области существует весьма мало. Также необходимо добавить, что практически все работы рассматривают построение стереоизображений для фото или синтезированных аналогов. Результаты математического моделирования имеют свою существенную специфику. Они строятся с помощью инструментов научной визуализации, и вопрос построения стереоизображений из монокадров, полученных с помощью этих средств, является открытой для дальнейших разработок темой.

В основном большинство работ посвящено алгоритмам построения карт глубины и улучшению их качества [7-9]. Также существуют работы, посвященные построению карт глубины по уже существующим стереоизображениям. С точки зрения задач построения стереоизображений, представляющих для нас наибольший интерес в настоящее время, первоочередными задачами являются построение стереоанимаций для установки классического типа и построение стереоанимаций с помощью составных многовидовых кадров для автостереоскопического монитора. Не менее актуальной задачей является накопление практического опыта и выработка практических рекомендаций для представления результатов решения задач математического моделирования, полученных с помощью инструментов научной визуализации, в стереорежиме [1,2,11].

Практический опыт позволяет оценить получаемый стереоэффект. Так, например, при использовании классической стереоустановки было получено, что применение угловой стереобазы дает гораздо больший видимый стереоэффект по сравнению с линейной стереобазой. Аналогичным образом, для автостереоскопического монитора с помощью практических тестов было установлено, что использование составного многовидового кадра резко усиливает стереоэффект по сравнению с применением построения карт глубины. Ряд иллюстраций полученных результатов представлен в следующем разделе.

6. Практические результаты

Рассмотренные методы объемной визуализации получили практическое применение в различных областях научных расчетов, например в астрофизике [10]. Здесь была проведена успешная попытка моделирования статического стереокадра с помощью построения составного многовидового кадра (рис. 8).

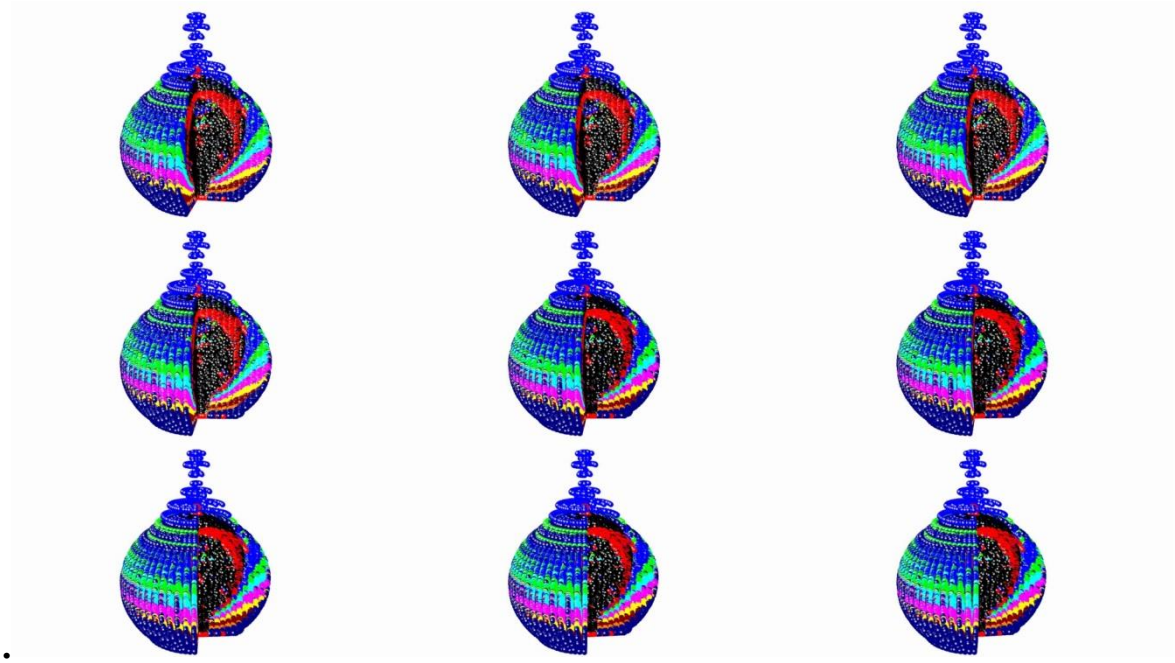

Рис. 8. Визуализация расчетов взрыва сверхновой на экране автостереоскопического монитора.

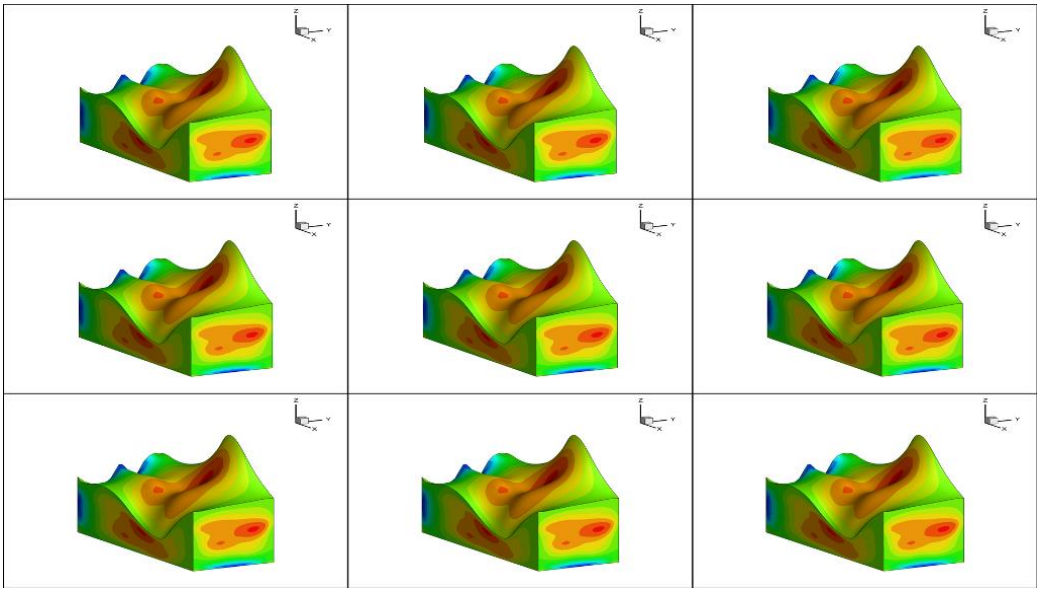

Рис. 9. Выпуклый объем с распределением изолиний на поверхностях на экране автостереоскопического монитора.

Также был проведен ряд исследований для построения результатов математического моделирования [11]. На рисунке 9 представлен многовидовой составной кадр для автостереоскопического монитора, изображающий распределение некоторой величины по поверхности объемной фигуры.

Для автостереоскопического монитора был предпринят ряд численных экспериментов по построению карт глубины для фотореалистичного изображения салона автомобиля (рис. 10).

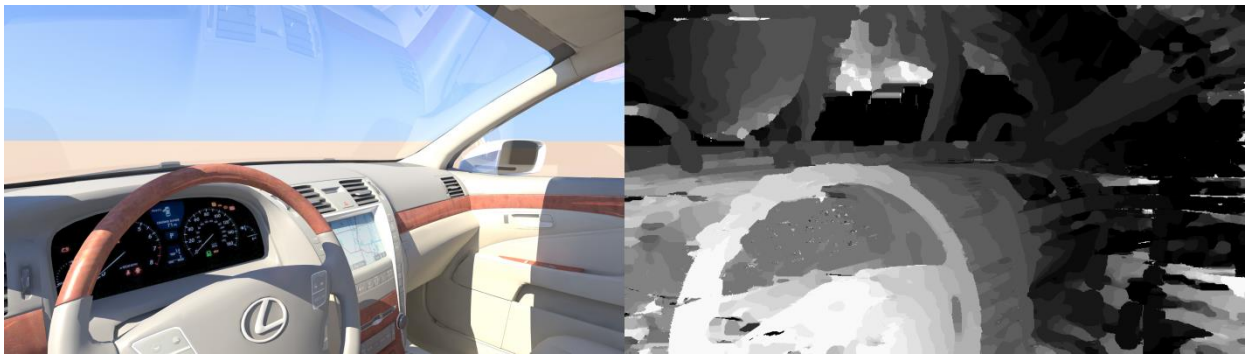

Рис. 10. Оригинальное изображение и его карта глубины на экране стереоустановки.

Важная задача построения стереоанимаций была решена в работах [4-6]. Данный цикл работ представляет численную модель, представляющую собой единую технологическую цепочку алгоритмов, включающую в себя построение CAD-модели для описания сложной геометрии, построение расчетной сетки на основе полученной геометрии, решение задачи моделирования обтекания на основе полной системы уравнений Навье-Стокса, визуализацию и анимацию результатов в моно- и стереорежимах. Разработанная технологическая цепочка позволяет проводить полноценное численное исследование и последующий анализ работы энергетической установки, начиная от создания CAD модели и заканчивая стереометрической визуализацией. Это дало возможность перейти к задачам оптимизации для уменьшения энергетических потерь и увеличения КПД установки. Был создан ряд стереофильмов, визуализирующих вращение модели в объемном представлении при задании различных внешних условий.

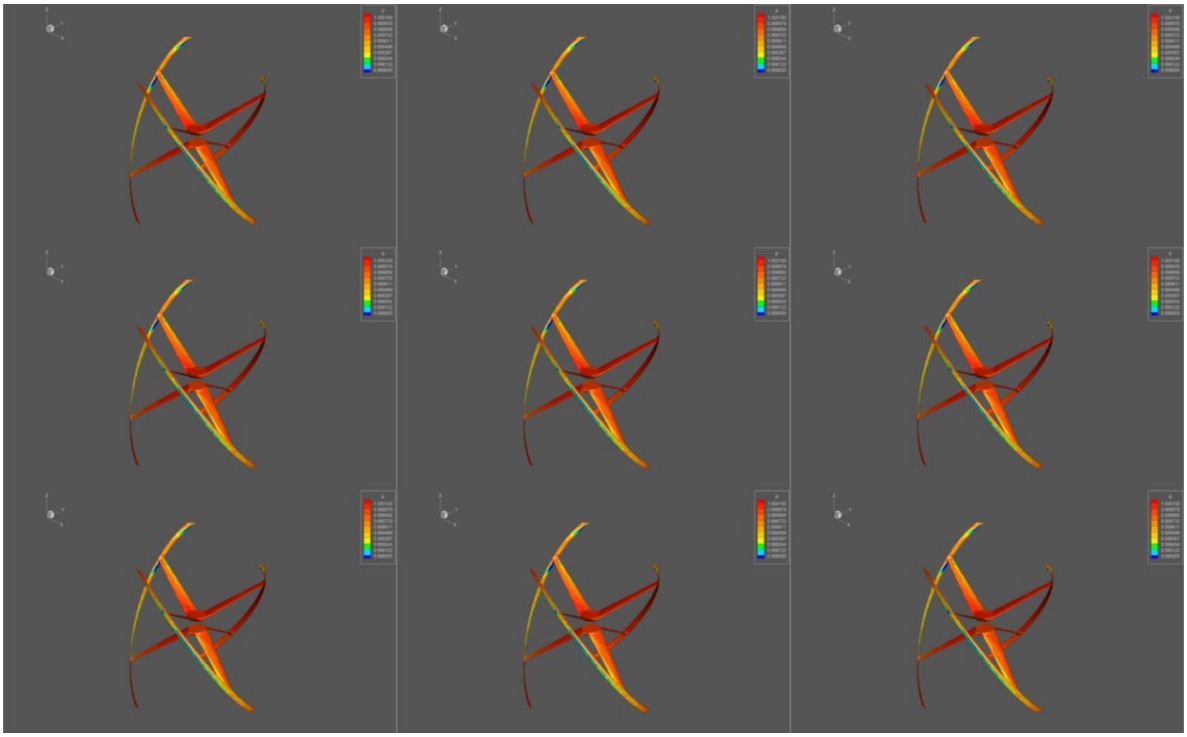

Рис. 11. Визуализация задачи поиска оптимальной формы узла лопастей энергоустановки на экране автостереоскопического монитора.

Рис. 12. Вариация сдвига по стереобазе текстовой информации в стереопрезентации.

Также следует выделить образовавшуюся в процессе построения стереопрезентации отдельную подзадачу. Стандартное представление научной презентации, как правило, включает в себя не только визуализацию сложной геометрии или полей физических величин, но и пояснения, обычно представляемые текстом и формулами. Если для геометрий и физических величин вопросы построения стереопредставлений хоть как-то разработаны, то задачи построения стереоотображений текстов и формул с достаточной

выразительностью и необходимым стереоэффектом остаются открытыми. В работе [12] представлены результаты исследований по построению выразительных текстов и формул для классической стереоустановки (рис. 12).

Заключение

Работа представляет общие основы построения стереоизображений, как статических, так и анимированных, на современных стереоустановках. Рассматриваются установки двух типов: пассивные (классические с поляризационными очками) и активные (автостереоскопические мониторы, не требующие очков). Рассмотрены основные методы построения стереокадра для каждого из типов стереоустановок, такие как построение стереопары, построение карты глубины и многовидового составного кадра. Приведены примеры построения.

Следует заметить, что стереопредставление результатов решения задач математического моделирования обладает мощнейшим презентационным эффектом. На последующих этапах работы предполагается организация построения стереоанимаций для классов прикладных трехмерных задач вычислительной механики жидкости и газа.

Библиографический список

1. Организация стереопредставлений в задачах синтеза фотореалистичных изображений и научной визуализации / Андреев С.В. и др.] // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2010. № 61, 14 с.
2. Андреев С.В., Денисов Е.Ю. Программное решение проблем генерации изображения в современных стереокомплексах // Материалы 11-го научно-практического семинара "Новые информационные технологии в автоматизированных системах", М.:МГИЭМ, 2008, с. 16-23.
3. Автостерескопический монитор Dimenco URL:https://www.dimenco.eu/downloads/DM654MAS_product_leaflet.pdf. (Дата обращения – 15.07.18).
4. Андреев С. В., Бондарев А. Е., Бондаренко А. В. и др. Моделирование и визуализация работы энергетической установки сложной формы // *Математическое моделирование*, 28:9 (2016), 125–136.
5. Андреев С. В., Бондарев А. Е., Бондаренко А. В. и др. Моделирование и визуализация работы энергетической установки сложной формы в режиме стереоанимации // Труды 25-й Международной Конференции по

Компьютерной Графике и Зрению ГрафиКон'2015, Протвино, Россия, 22-25 сентября 2015 г., с. 183-187.

6. Андреев С. В., Бондарев А. Е., Бондаренко А. В. и др. Моделирование и визуализация работы узла лопастей сложной формы в энергетической установке // *Научная визуализация*, Т.7, № 4, 2015, с.1-12.
7. Erofeev M., Vatolin D., Voronov A., Fedorov A. Toward an Objective Stereo-Video Quality Metric: Depth Perception of Textured Areas, International Conference on 3D Imaging (IC3D), pp. 1–6, 2012. doi:10.1109/IC3D.2012.6615120.
8. Alagoz B. A Note on Depth Estimation from Stereo Imaging Systems, *Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 1(1) 2016 8-13.
9. Kamencay P., Breznan M., Jarina R., Lukac P., Zachariasova M. Improved Depth Map Estimation from Stereo Images Based on Hybrid Method, *Radioengineering*, V. 21, N 1, 2012 70-78.
10. Андреев С., Филина А.. Применение стереоизображений для визуализации результатов научных вычислений / *Научная визуализация*. 4(1) (2012) 12-21.
11. Андреев С.В., Бондарев А.Е. Построение стереопредставлений в задачах синтеза фотореалистичных изображений и задачах научной визуализации // Труды 2-й международной конференции «Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Технологии высокополигонального моделирования» УдГУ – Ижевск, 2010. – Т.1, с. 66–69.
12. Андреев С.В., Бондарева Н.А. Построение представлений текстовой информации в стереопрезентациях // Новые информационные технологии в автоматизированных системах: материалы двадцатого первого научно-практического семинара - М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 20 апреля 2018, с. 11-16.