

# Моделирование монитора кругового обзора.

И.В. Валиев, А.Г. Волобой

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Москва

## Аннотация

В статье рассматриваются система моделирования монитора кругового обзора. Монитор кругового обзора – это отображение на дисплее (вид сверху) положения транспортного средства вместе с окружающими объектами во время сложных маневров, таких как парковка автомобиля, лоцманская проводка судна в порту или руление авиалайнера в аэропорту. Система моделирования позволяет разработать такой монитор, проверить и настроить характеристики используемых камер, а также их положение в пространстве.

**Ключевые слова:** визуализация, навигация, расширенная реальность, трассировка лучей.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных применений компьютерной графики являются системы, помогающие управлять транспортными средствами или другими сложными техническими механизмами. В первую очередь к таким системам относятся космические тренажеры [1, 2], а также имитационные комплексы [3], которые позволяют проводить предварительную тренировку и отработку элементов управления сложными механизмами. Отличительной особенностью тренажерных комплексов является то, что они не ставятся на реальные установки и не работают в реальных условиях, т.к. это часто слишком дорого и связано с опасностью для человека.

С развитием быстродействия процессоров и портативных видеокамер появились программные системы, используемые непосредственно в навигации транспортных средств [4, 5]. Эти системы позволяют автоматически определить положение транспортного средства или аппарата в пространстве, отслеживать окружающую обстановку. На основе этих данных принимается решение о дальнейшем движении (навигации). Однако большие вычислительные затраты, связанные с реализацией алгоритмов, заложенных в этих системах, иногда не позволяют добиться необходимой скорости в реальном времени, что отражается на их надежности.

Удешевление аппаратных компонент навигационных систем, в частности портативных камер, привело к тому, что сейчас такие системы могут быть установлены не только на сложных космических аппаратах или судах, а также на обычных, массовых автомобилях. Водитель автомобиля имеет ограниченное поле зрения, что доставляет неудобство в процессе парковки автомобиля. Для облегчения парковки производители автомобилей применяют различные способы, такие как парковочные радары, камеры заднего вида, линзы Френеля. Одной из современных систем являются мониторы кругового обзора [6, 7]. Система состоит из 4-х широкоугольных видеокамер [8], расположенных спереди, сзади и по бокам автомобиля. Они расположены наклонно, так чтобы снимать сектора земли вокруг автомобиля. Высота

крепления камеры над землей, ее положение и ориентация относительно автомобиля известны. Это позволяет преобразовать эти снимки к изображениям, как бы снятым ортогографической камерой ориентированной вертикально вниз и направленной на автомобиль.

## 2. МОНИТОР КРУГОВОГО ОБЗОРА

Задачей монитора кругового обзора является преобразование видео потока, полученного с камер, в изображение автомобиля вместе с окружением с высоты «птичьего полета». На рис. 1 представлено изображение автомобиля с секторами видимости камер.

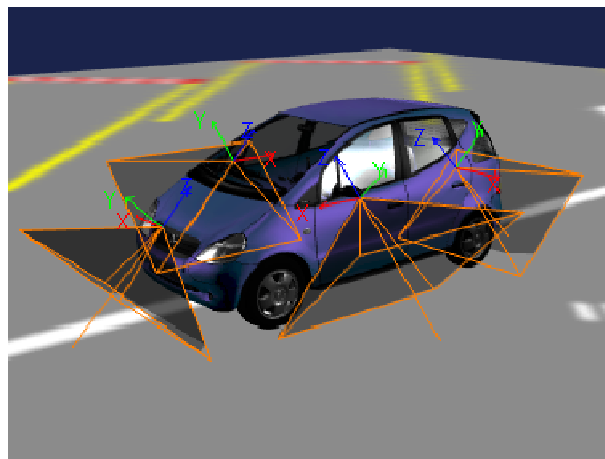


Рис. 1. Расположение камер относительно автомобиля.

Если автомобиль расположен на плоскости с шахматной текстурой, то итоговое изображение автомобиля на мониторе получится таким, как показано на рис. 2.

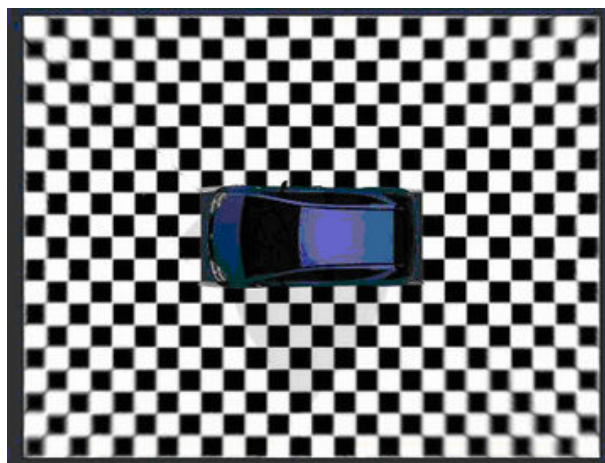


Рис. 2. Общий ортогографический вид сверху.

В процессе формирования итогового изображения решается задача преобразования исходного изображения, полученного с камеры, (рис.3а) в изображение этого участка в ортографическом виде сверху (рис. 3б).

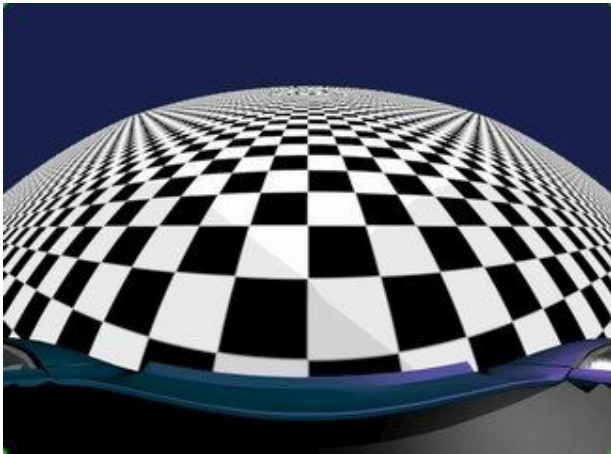


Рис. 3а. Снимок передней камеры.

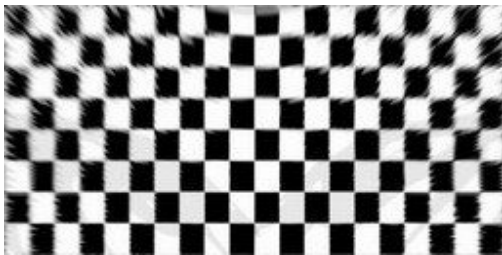


Рис. 3б. Снимок передней камеры, преобразованный в ортографический вид сверху.

Одним из начальных этапов разработки монитора кругового обзора является компьютерное моделирование системы с целью подбора оптимальных параметров камер, их расположения, и исследования влияния различных оптических эффектов на качество финального изображения.

### 3. ОСОБЕННОСТИ ЗАДАНИЯ СЦЕНЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОНИТОРА КРУГОВОГО ОБЗОРА

Нами была предложена следующая структура сцены для моделирования монитора кругового обзора.

Сцена состоит из плоскости, представляющей собой землю, и модели автомобиля. Также сцена может содержать любые другие объекты, представляющие препятствия, опасные для движения автомобиля (другой автомобиль, столб и т.д.). Отличительной особенностью сцены является наличие пяти камер (четыре камеры соответствуют камерам, закрепленным на автомобиле, а пятая – камера, направленная сверху на автомобиль), а также специального объекта – набора плоских секторов, копланарных с плоскостью земли. Каждый сектор соответствует автомобильной камере, снимающей участок земли (рис. 4). Плоскость земли является объектом съемки. Относительно нее может перемещаться автомобиль с прикрепленными камерами и специальным объектом – набором секторов.

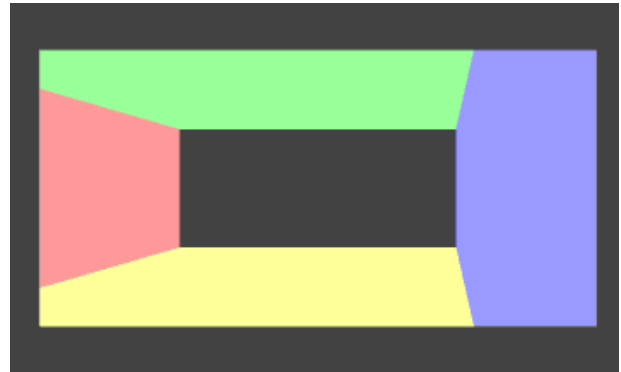


Рис. 4. Сектора кругового обзора для представления результирующих изображений

Дополнительные требования должны быть учтены при реализации моделей камер, закрепленных на автомобиле. Традиционные системы визуализации 3-хмерных сцен работают с точечными камерами, отображающими сцену в соответствии с законами перспективной проекции, и заведомо имеющими угол обзора меньше 180 градусов. Однако для построения монитора кругового обзора предполагается применять широкоугольные камеры, с углом обзора больше 180 градусов, с так называемыми объективами «рыбий глаз». Точечная камера характеризуется одной точкой, через которую осуществляется проекция, координаты которой и определяют положение камеры. Эти координаты не зависят от угла проекции. В широкоугольных объективах это не так. Положение точки проекции на оптической оси камеры зависит от угла проекции (рис. 5). Еще одно требование – должны поддерживаться камеры с произвольным положением оптической оси относительно раstra изображения.

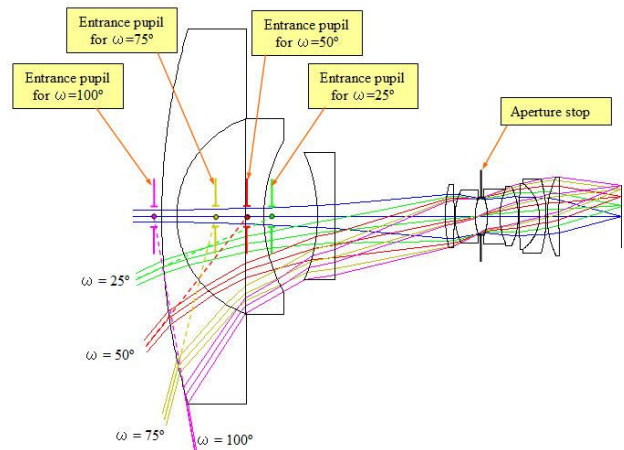


Рис. 5. Положение точек проекции на оптической оси для типичной широкоугольной камеры.

### 4. ПОЛУЧЕНИЕ ИТОГОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Для получения итогового изображения мы сначала воспроизводим кадры, полученные камерами, прикрепленными к автомобилю (процесс съемки). Затем преобразуем их в текстуру соответствующего сектора путем обратной проекции изображения на плоскость земли. В момент съемки набор секторов прячется, а в момент показа

результата – показывается с восстановленной текстурой. Результат показывается при помощи ортографической камеры расположенной над автомобилем.

Исходные изображения (процесс съемки) получается при помощи обратной трассировки лучей из камеры. Для каждого пикселя исходного изображения вычисляется угол проекции в соответствии с функцией проецирования и луч из камеры направляется в вычисленном направлении. Если есть пересечение с объектами сцены, то вычисляется освещенность и видимая яркость соответствующей точки поверхности, в ином случае вычисляется яркость фона. Используется именно яркостное изображение без преобразования в цвет, представимый на экране монитора.

Дальше для каждого сектора плоскости кругового обзора вычисляется текстурное изображение из исходного изображения камеры, направленной в сторону данного сектора, по заданным координатам вершин текстурного прямоугольника, и известным параметрам соответствующей камеры кругового обзора. Алгоритм вычисления текстуры из изображения камеры простой: для каждого пикселя текстуры вычисляется его положение на плоскости сектора. Далее пускается луч из камеры в эту точку и определяется соответствующая точка в прямоугольнике изображения камеры. Точка находится между центрами ближайших четырех пикселей. Значения текстурного пикселя находится интерполяцией значений этих четырех пикселей с учетом расстояния до них.

Аналогичный алгоритм используется для нахождения изображения виртуальной камеры – сначала находится пересечение луча вертикальной камеры, соответствующего ее пикселю, с плоскостью сектора, а затем в ту же точку пускается луч из камеры, соответствующей реальному изображению.

Используется яркостная текстура, все прочие атрибуты поверхности сектора обнуляются, чтобы избежать дополнительного освещения источниками света. При визуализации результирующего кругового обзора плоскость земли и возможные дополнительные объекты за исключением самого автомобиля прячутся. В итоге показывается автомобиль и сектора кругового обзора с посчитанными текстурами.

Для учета параметров реальной камеры, например, ее дисторсию, используется функция проецирования. Функция задается через таблицу зависимости расстояния между пикселем и центром проекции на изображении от угла проекции. Расстояние пикселя от центра проекции может быть выражено в любых единицах. Для применения функции к конкретному окну изображения камеры оно масштабируется с учетом размеров изображения и угла зрения камеры для этого изображения. Функция предполагается монотонно возрастающей, что позволяет использовать её как для прямого, так и обратного преобразований. Функция проецирования для реальной камеры были измерены.

## 5. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕТОЧНОСТИ ЗАДАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КАМЕРЫ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

При моделировании монитора кругового обзора положение и ориентация камер известны абсолютно точно. Поэтому итоговое изображение секторов кругового обзора совпадает с

изображением плоскости земли, снятым той же камерой. Единственным отличием являются дефекты изображения, возникающих при преобразовании исходных изображений в текстуры. Дефекты возрастают с возрастанием расстояния от камер до земли. Наиболее качественно представлены участки земли около автомобиля, наименее качественно – удаленные участки, что хорошо заметно на рис. 3б. При этом швы на стыке секторов совершенно не заметны.

В реальном мониторе кругового обзора положение и ориентация камер известны с некоторой погрешностью, и изображение секторов может отличаться от изображения земли из-за этого. Для оценки влияния погрешности задания параметров камеры, было предложено использовать смещенную камеру, чьи снимки используются для восстановления текстуры, но с параметрами базовой несмещенной камеры.

Как видно из текстур на рис. 6, восстановленной для базовой и смещенной камер (смещенная камера повернута на  $1^0$  по всем трем осям), такие малые погрешности задания камеры слабо влияют на результат. Это говорит о надежности такой системы в реальной жизни.

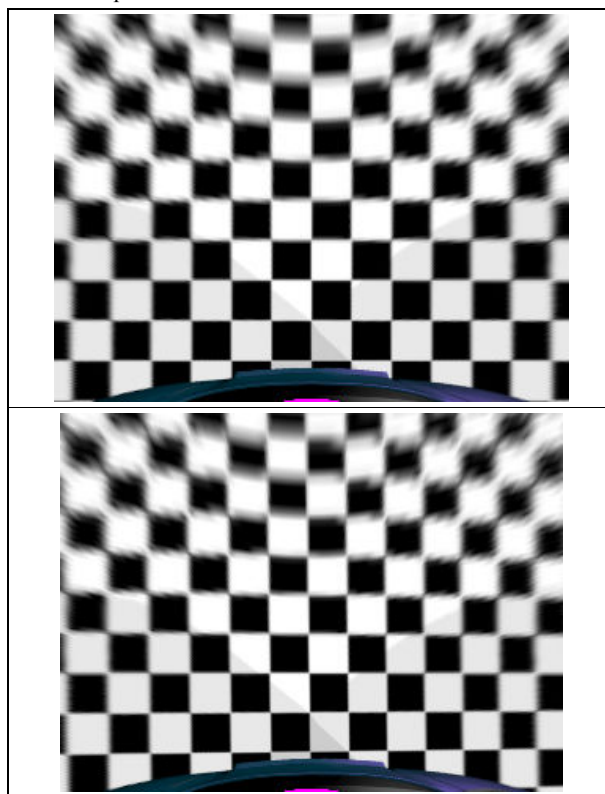


Рис. 6. Вверху текстура, восстановленная из изображения базовой камеры, внизу – из изображения камеры, повернутой на  $1^0$  по всем трем углам относительно базовой камеры.

Изображения, представленные выше, были синтезированы для камеры с идеальной частотно-контрастной характеристикой (ЧКХ). Для оценки влияния ЧКХ камеры было предложено производить фильтрацию синтезированных изображений. Фильтрация изображения производится путем двумерного преобразования Фурье. К полученному образу пространственных частот применяется заданная функция передачи модуляции. Затем производится обратное

преобразование Фурье. На рис. 7 представлены текстуры кругового обзора, восстановленные для камеры с идеальными ЧКХ и для камеры с реальными, заранее заданными характеристиками.

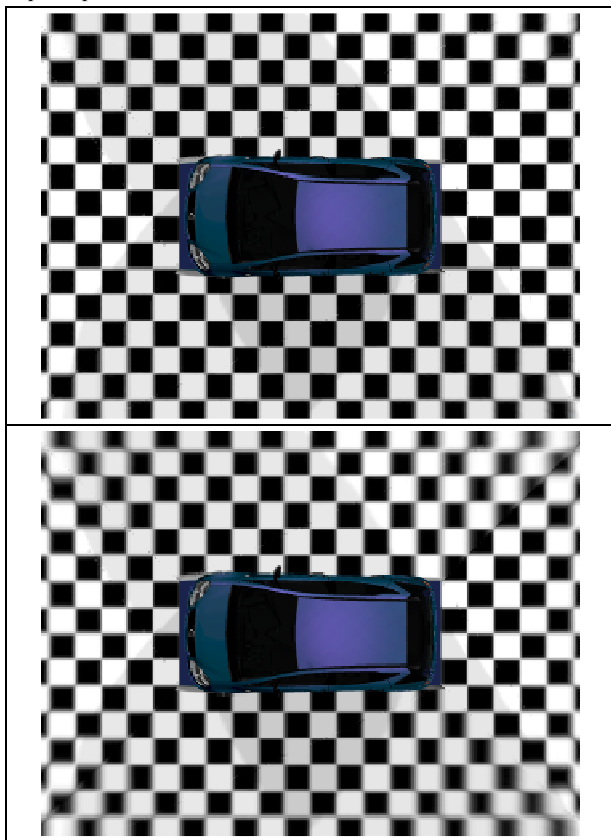


Рис. 7. Вверху показан круговой обзор, полученный при помощи камер с идеальной ЧКХ, внизу – с заданной ЧКХ

Таким образом, при помощи моделирования монитора кругового обзора возможно оценить применимость той и или иной реальной камеры, влияние расположения камер на итоговое изображение.

## 6. РЕЗУЛЬТАТЫ

Система моделирования монитора кругового обзора была разработана и встроена в программный комплекс расчета освещенности Inspire2 и САД-систему CATIA (Dassault systems). Время генерации итогового изображения зависит от размеров текстур и характеристик камер. В реальной работе это время колеблется от нескольких секунд до нескольких минут.

С помощью этой системы возможно разработать и промоделировать оптические компоненты монитора кругового обзора, который значительно упрощает проведение сложных маневров, таких как парковка автомобиля, лоцманская проводка судов в порту, рулежка самолетов в аэропортах.

Работа поддержана грантом Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-8129.2010.9, а также фирмой Integra Inc. (Япония).

Электронный вариант статьи с цветными иллюстрациями размещен на сайте [http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/publications/cgd\\_public.htm](http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/publications/cgd_public.htm).

## 7. ЛИТЕРАТУРА

[1] Б.С. Долговесов, Б.С. Мазурок, М.У. Шевцов, Б.Б. Морозов, А.В. Рухлинский, А.В. Пекарский, В.А. Наумов, В.М. Фомичев. 3D графика реального времени: от тренажеров до виртуальных студий. Труды конференции Графикон'2005. Новосибирск, 2005. стр. 44-47.

[2] А.И. Масалкин. Опыт использования систем компьютерной графики в тренажерах ПКА. Сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 80-летию со дня рождения академика В. А. Мельникова, Москва, 2009. стр. 96-98.

[3] М.В. Михайлюк, М.А. Торгашев, И.А. Хураськин. Общая структура программного обеспечения тренажерного комплекса. Сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 80-летию со дня рождения академика В. А. Мельникова, Москва, 2009. стр. 68-71.

[4] В.А. Бобков, Ю.С. Борисов, С.В. Мельман, Ю.И. Роньшин. Моделирующий комплекс для исследования методов управления движением автономного подводного аппарата. Труды конференции Графикон'2006. Новосибирск, 2006. стр. 279-283.

[5] Ю.С. Борисов. Решение задачи навигации подводного аппарата по последовательности изображений. Труды конференции Графикон'2006. Новосибирск. стр. 284-288.

[6] NISSAN. Around view monitor.

<http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/INTRODUCTION/DETAILS/AVM/>

[7] Nissan releases details about "Around View Monitor"

<http://www.autoblog.com/2007/10/12/nissan-releases-details-about-around-view-monitor/>

[8] Sony CMOS camera for Nissan around view monitor. [http://www.fareastgizmos.com/transport/sony\\_cmos\\_camera\\_for\\_nissan\\_around\\_view\\_monitor.php](http://www.fareastgizmos.com/transport/sony_cmos_camera_for_nissan_around_view_monitor.php)

## Abstract

Around view monitor simulation system is presented in the article. Around view monitor is a display of top view image of a vehicle together with around environment. This display simplifies such advanced maneuvers as car parking, ship and boat piloting in harborage, aircraft taxiing in airport. The simulation system allows to elaborate monitor, to check and verify its optical components.

**Keywords:** *visualization, navigation, augmented reality, ray tracing.*

## Authors:

Ildar V. Valiev, researcher, Keldysh Institute for Applied Mathematics RAS.

Alexey G. Voloboy, PhD, senior researcher, Keldysh Institute for Applied Mathematics RAS.

E-mail: [voloboy@gin.keldysh.ru](mailto:voloboy@gin.keldysh.ru)