

## Моделирование работы камеры заднего вида\*

*Б.Х.Барладян, Е.Д.Бирюков, А.Г.Волобой, С.В.Ершов, Л.З.Шапиро*

obb@gin.keldysh.ru | peb@gin.keldysh.ru | voloboy@gin.keldysh.ru

measure@spp.keldysh.ru | pls@gin.keldysh.ru

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

*В работе рассматриваются интерактивные алгоритмы преобразования изображений получаемых с помощью стандартной камеры «рыбий глаз» в изображения, соответствующие широкоугольной, нормальной камере и виду сверху всей сцены. Эти преобразования используются в современных системах автомобильной навигации.*

**Ключевые слова:** камера заднего вида, визуализация, навигация, расширенная реальность.

## Rear camera simulation\*

*B.Kh.Barladian, E.D.Birukov, A.G.Voloboy, S.V.Ershov, L.Z.Shapiro*

The Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Science

*Interactive algorithms of 2D mapping of images produced by a standard “fisheye” camera to the wide, normal and top down images are considered. These transformations are used in modern car navigation systems. Suggested algorithms are fast and convenient for users. The algorithms are integrated into CATIA (Dassault systems) CAD system.*

**Keywords:** rear camera, navigation, augmented reality, ray tracing.

### 1. Введение

Ограниченное пространство для парковки автомобилей на улицах современных городов требует от производителей оборудования оснащения автомобилей различными вспомогательными системами для облегчения водителю процесса парковки. К таким системам относятся камера кругового обзора, заднего вида, системы мониторинга «мертвых зон», системы PARKTRONIC и активного парковочного помощника [1,2]. Особые затруднения испытывают водители при парковке задним ходом и параллельной парковке. В связи с этим оборудование автомобилей парковочными системами с камерой заднего вида стало на сегодняшний день фактически стандартом для современных автомобилей. Это особенно актуально, поскольку часть пространства позади автомобиля не видна ни в зеркала заднего вида, ни в заднее стекло. В настоящее время производители предлагают на рынке большое количество систем, использующих одну или несколько камер для обзора «мертвых зон» автомобиля, которые не видны ни в зеркала, ни в окна [1-4]. Это могут быть как простейшие системы, просто передающие изображение, получаемое с данной камеры на монитор, так и продвинутые системы, обеспечивающие полуавтоматическую парковку при движении задним ходом или параллельную парковку [2].

Наиболее существенным с точки зрения парковки является получение удобного для водителя изображения с камеры заднего вида, поскольку здесь на-

ходится наиболее невидимая часть пространства. Для обеспечения максимального обзора камеры заднего вида используют широкоугольные объективы или даже объективы класса «рыбий глаз» с углом зрения 180 градусов и более [1-4]. В силу особенностей конструкции конкретного автомобиля камеру, в некоторых случаях, приходится располагать в таких местах, что получаемое изображение не является симметричным, относительно оси автомобиля, и направление оси камеры будет иметь достаточно острый угол по отношению к плоскости дороги. В силу всех этих специфических особенностей положения, ориентации камеры, а также использования широкоугольных объективов, получаемые изображения могут быть не слишком удобны для водителя с точки зрения эргономики и читаемости обстановки. Для повышения информативности получаемых изображений применяются различные алгоритмы исправления искажений и преобразования исходного изображения в изображения, как бы получаемых камерами без искажений, с меньшим углом зрения или даже для камеры, смотрящей на автомобиль сверху (bird's eye view, top down [1,5]). Информативность этих изображений может быть дополнительно улучшена путем визуализации на них направляющих линий, т.е. линий, по которым будет двигаться автомобиль при заданном положении руля. В настоящей работе рассматриваются интерактивные алгоритмы преобразования изображений, получаемых с помощью стандартной «рыбий глаз» камеры, в более информативные для водителя представления. Результатом работы разработанных алгоритмов является 2D отображение, описанное в формате, пригодном

Работа поддержана грантом РФФИ 13-01-00454, а также фирмой Integra Inc. (Япония). Работа опубликована при финансовой поддержке РФФИ, грант 15-07-20347.

для реализации в аппаратной или программной части камеры или навигатора, установленных на автомобиле.

## 2. 2D отображение

Как уже упомянуто выше все результирующие изображения являются некоторыми двумерными отображениями исходного изображения, полученного с помощью объектива «рыбий глаз». Выбор алгоритмов и способов представления этого отображения в значительной мере определяет удобство и эффективность разрабатываемых интерактивных процедур. В работе [6] для представления такого отображения исходное изображение разбивалось на некоторые прямоугольные подобласти, для которых применялась сложная система индивидуальных масштабных коэффициентов, заданных в вершинах этих прямоугольников. В настоящей работе был выбран более простой, прозрачный и эффективный для реализации подход для построения двумерного отображения. На выходном изображении отображение определено в узлах некоторой регулярной сетки (рис. 1).

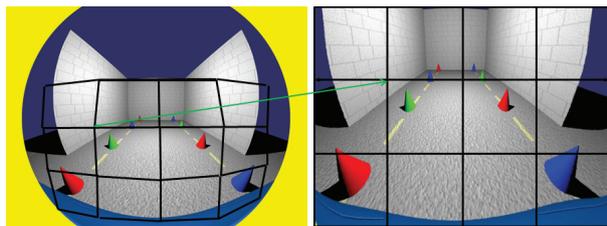


Рис. 1: Преобразование изображения. Слева – исходное изображение, справа – преобразованное.

Для каждого узла сетки на итоговом изображении задается соответствующая точка на исходном изображении. Для нахождения соответствующей точки на исходном изображении по точке итогового изображения внутри прямоугольника сетки используется билинейная интерполяция между вершинами сетки. Выбор шага сетки определяется спецификой задачи. В наших экспериментах сетка с разрешением  $100 \times 100$  обеспечивала приемлемую точность для большинства рассмотренных преобразований. Большая точность потребовалась лишь в некоторых случаях для преобразования в изображение, имитирующего камеру, смотрящую на автомобиль сверху (см. раздел 4).

## 3. Интерактивное создание 2D отображения

Как уже было упомянуто выше изображения, непосредственно передаваемые с камеры заднего вида, не слишком удобны для водителя с точки зрения оценки дорожной обстановки. Причинами

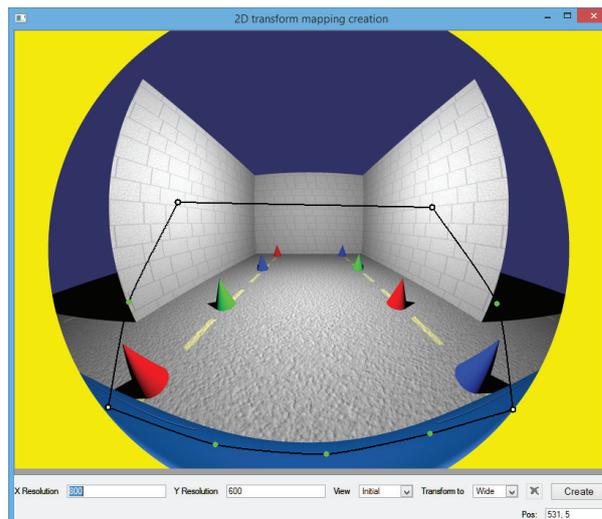


Рис. 2: Исходное изображение камеры заднего вида.

этих неудобств являются специфические положение и ориентация камеры и использование объектива «рыбий глаз». Для исправления этих недостатков производители автомобильных навигаторов обеспечивают возможность преобразования исходного изображения в изображения, соответствующие камере с менее широкоугольным и нормальным объективами [5]. Фактически каждое из этих новых изображений является некоторой частью исходного изображения, части которого могут быть растянуты или сжаты для получения необходимых эффектов. В реальной системе эти преобразования должны работать в режиме реального времени и, соответственно, должны быть реализованы в аппаратуре. В настоящей работе рассматривается интерактивный способ построения таких отображений.

Интерактивная процедура создания 2D отображений реализована в системе Lumicert, интегрированной в систему автоматизированного проектирования САТИА [7]. Система позволяет получать реалистические изображения путем трассировки лучей для камеры заднего вида с учетом положения и ориентации камеры относительно автомобиля и необходимого окружения. Система позволяет моделировать камеру с объективом «рыбий глаз» с углом зрения больше 180 градусов и учитывать дисторсию объектива.

На рис. 2 показано изображение камеры заднего вида, полученное с помощью моделирования в системе [7]. Наша интерактивная система позволяет построить контур на этом изображении, который будет являться границей соответствующего преобразованного изображения – широкоугольного, нормального или вида камеры, смотрящей на автомобиль сверху. Контур строится из четырех кри-

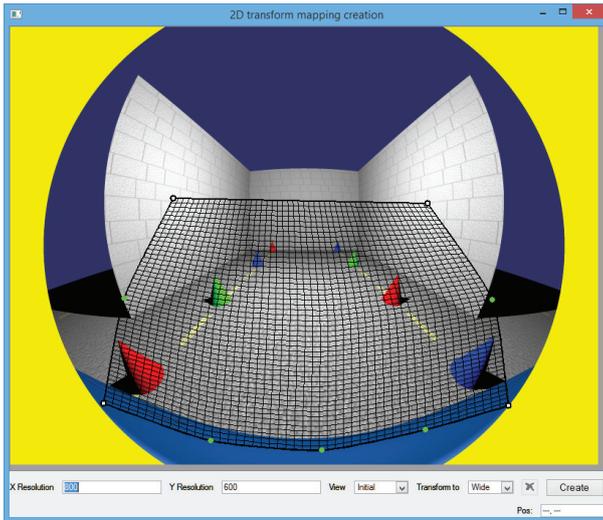


Рис. 3: Сетка точек для контура на рис. 2.

вых, соответствующих левому, правому, нижнему и верхнему границам изображения. Первоначально контур представлен в виде прямоугольника из четырех граничных отрезков. Пользователь может произвольно добавлять и удалять новые точки на этом контуре и перемещать их. Удалять первоначальные угловые точки нельзя. Их можно только перемещать. Каждая кривая строится как сплайн, проходящий через заданные точки. При перемещении точек автоматически поддерживается ограничение, не допускающее пересечения кривых. Для построения отображения, описанного в разделе 2, необходимо на контуре, построенном пользователем на исходном изображении, построить точки, соответствующие однородной сетке производного изображения.

Для этого нами был разработан следующий алгоритм:

1. На верхней и нижних граничных кривых контура строятся наборы точек, равномерно распределенные по X координате. Количество точек определяется заданной размерностью отображения по X координате.
2. Промежуточные наборы точек между верхней и нижней границами контура получаются линейной комбинацией соответствующих наборов точек построенных в п.1 с весами, равными расстояниям до соответствующих границ. Количество этих промежуточных наборов точек определяется заданной размерностью отображения по Y координате.
3. На левой и правой граничных кривых контура строятся наборы точек, равномерно распределенные по Y координате. Количество точек определяется заданной размерностью отображения по Y координате.
4. Естественным условием для построенных в п.2. промежуточных наборов точек является совпа-

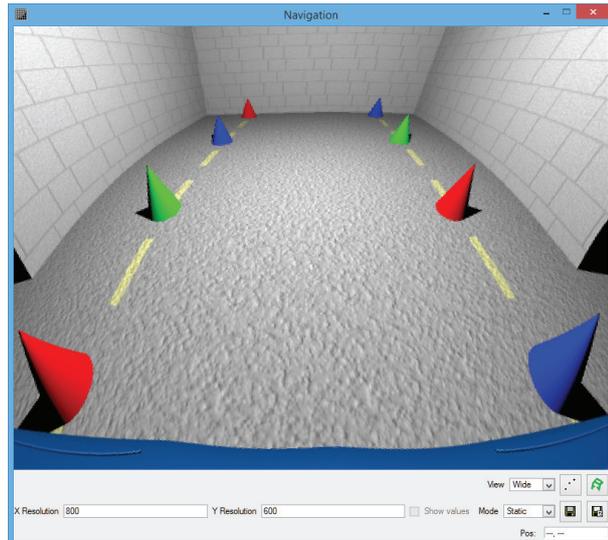


Рис. 4: Преобразованное изображение камеры заднего вида.

дение начальных и конечных точек с соответствующими точками, построенными в п.3.

5. Для выполнения условия из п.4. для каждого набора точек, построенного в п.2. строится матрица  $3 \times 2$  (смещение, масштабирование и поворот), удовлетворяющая условию п.4 и все точки этого набора точек корректируется с помощью построенной матрицы.

Точки, построенные по описанному алгоритму, показаны на рис. 3 как вершины сетки. Результирующее изображение, полученное с помощью построенного отображения, показано на рис. 4.

#### 4. Построение вида сверху

Описанный в разделе 3 алгоритм позволяет отобразить область внутри любого построенного пользователем контура как изображение, полученное некоторой специфической камерой. Способ построения позволяет не только выделять полезную с точки зрения водителя область изображения, но и производить определенные деформации этой области. Однако этот подход не позволяет получить качественный вид сверху, т.е. имитировать камеру, смотрящую на сцену сверху. Для получения вида сверху из исходного изображения, подаваемого с камеры заднего вида с известными параметрами, была разработана специальная процедура. Эта процедура базируется на следующих предпосылках:

1. Предполагается что поверхность, по которой в данный момент передвигается автомобиль можно рассматривать как плоскость с точки зрения данной задачи. Параметры этой плоскости, рассматриваемой как «земля», известны.

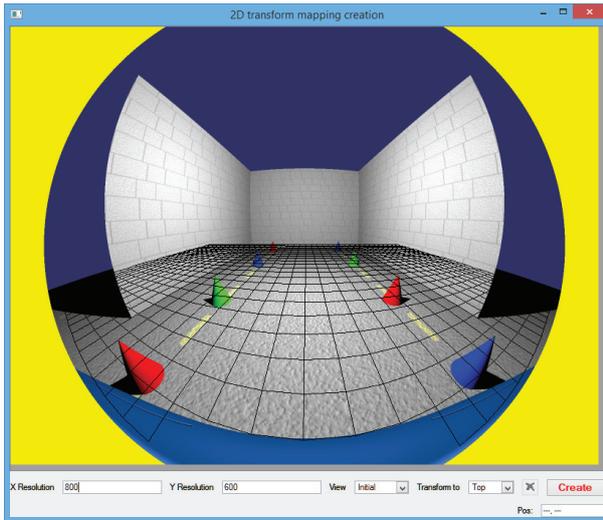


Рис. 5: Сетка для отображения в идеальный вид сверху.

2. Известны все параметры используемой камеры заднего вида, такие как положение, ориентация и функция искажения.
3. Заданы параметры для камеры, смотрящей на сцену сверху. Это может быть, как и идеальная («pinhole») так и ортогональная камера с параллельной проекцией.

Реализация процедуры встроена в систему, описанную в [7], и для вызова соответствующей процедуры пользователь должен указать обе камеры и элемент сцены, который будет использоваться для определения плоскости «земля». Процедура строит 2D отображение, описанное в разделе 2, которое затем используется для построения, так называемого, идеального вида сверху. Для построения отображения нам необходимо для каждого узла сетки на итоговом изображении вида сверху найти соответствующую точку на исходном изображении, полученном с помощью камеры заднего вида. Алгоритм работает следующим образом:

1. Трассируется луч из камеры, расположенной сверху, через пиксель, соответствующий заданному узлу сетки до пересечения с плоскостью «земли».
2. Строится луч из камеры заднего вида в полученную точку пересечения.
3. Находится соответствующий пиксель для этого луча в заданной камере заднего вида с учетом функции искажений. Если такой пиксель не существует (т.е. реальная камера не видит заданную точку пространства), то в качестве координат пикселя будет записано  $(-1, -1)$ . Программа, строящая преобразованное изображение, отобразит такие пиксели красным цветом.

Точки, построенные по описанному алгоритму, показаны на рис. 5 как вершины сетки. Полученное с

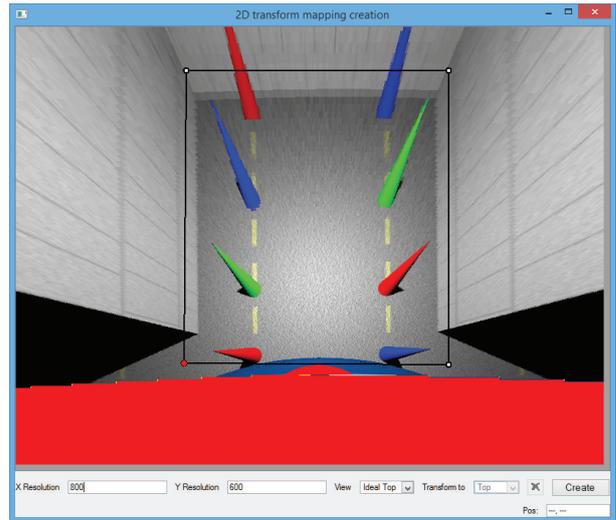


Рис. 6: Идеальное изображение для вида сверху

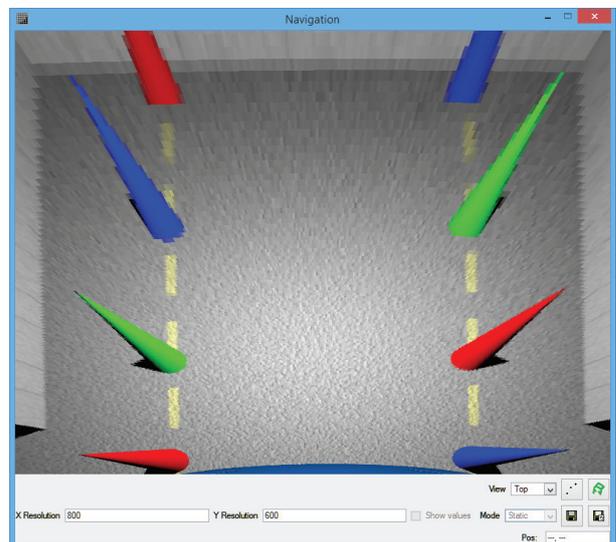


Рис. 7: Результирующее изображение для контура, приведенного на рис. 6.

помощью описанной процедуры идеальное изображение для вида сверху приведено на рис. 6.

Стандартная процедура, описанная в разделе 3, позволяет вырезать из этого изображения наиболее полезную область с точки зрения водителя. Результирующее 2D отображение будет получено в этом случае как произведение двух отображений – отображения, получаемого с помощью алгоритма, описанного в разделе 3, и отображения, описанного в текущем разделе выше. Для контура, изображенного на рис. 6 результирующее изображение приведено на рис. 7.

Следует отметить, что метод построения монитора кругового обзора, предложенный в работе [8] для получения изображения ортогональной (ортографической) камеры, расположенной над автомо-

билем, дает результат, близкий к предложенному методу. Основной недостаток построения монитора кругового обзора состоит в использовании фиксированного набора плоских секторов, копланарных с плоскостью земли. Изображение, полученное каждой камерой, преобразуется в текстуру соответствующего сектора путем обратной проекции изображения на плоскость земли. Таким образом, при использовании только одной камеры, результирующее изображение будет ограничено соответствующим сектором. В то же время в нашем подходе оно будет ограничено только областью видимости реальной камеры заднего вида.

## 5. Результаты

Разработанные алгоритмы построения 2D отображений были встроены в программный комплекс расчета освещенности в системе SATIA (Dassault systems) [7]. Построенные 2D отображения используются для их реализации в аппаратной или программной части реальной камеры заднего вида или автомобильного навигатора. Время построения 2D отображения не превышает нескольких секунд, время построения 2D отображения для идеального вида сверху может занимать несколько минут, если задать высокое разрешение сетки.

## Литература

- [1] Hughes C., Glavin M., Jones E., Denny P. Wide-angle camera technology for automotive applications: a review. IET Intell. Transp. Syst., 2009
- [2] [http://techcenter.mercedes-benz.com/ru\\_BY/360\\_degree\\_camera/detail.html](http://techcenter.mercedes-benz.com/ru_BY/360_degree_camera/detail.html)
- [3] [http://techcenter.mercedes-benz.com/ru\\_BY/reversing\\_camera/detail.html](http://techcenter.mercedes-benz.com/ru_BY/reversing_camera/detail.html)
- [4] <http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/avm.html>
- [5] <http://owners.honda.com/vehicles/information/2015/Fit/features/Rearview-Camera->
- [6] Barladyan B.Kh., Shapiro L.Z., Valiev I.V., Voloboy A.G.. Interactive camera distortion correction // Conference proceedings of 22-th International Conference on Computer Graphics and Vision, Lomonosov Moscow State University, October 01-05, 2012, pp.12-16.
- [7] Барладян Б.Х., Волобой А.Г., Шапиро Л.З.. Построение реалистичных изображений в системах автоматизированного проектирования // Труды 23-й Международной Конференции по Компьютерной Графике и Зрению, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Дальневосточный Федеральный Университет, 16-20 сентября 2013 года, С.148-151.
- [8] Валиев И.В., Волобой А.Г.. Моделирование монитора кругового обзора Труды 20-ой международной конференции по компьютерной графике и зрению ГРАФИКОН-2010, 20-24 сентября 2010, Санкт-Петербург, Россия, С.269-272.