



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

Препринты ИПМ • Препринт № 32 за 2016 г.



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

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

Моделирование камеры  
заднего вида  
автомобильной  
навигационной системы

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Моделирование камеры заднего вида автомобильной навигационной системы / Б.Х.Барладян [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2016. № 32. 19 с. doi:[10.20948/prepr-2016-32](https://doi.org/10.20948/prepr-2016-32)  
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2016-32>

**Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В.Келдыша  
Российской академии наук**

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

**Моделирование камеры заднего вида  
автомобильной навигационной системы**

**Москва — 2016**

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

## **Моделирование камеры заднего вида автомобильной навигационной системы**

В работе рассматриваются интерактивные алгоритмы построения преобразований изображений, получаемых с помощью автомобильной камеры заднего вида «рыбий глаз», в изображения, соответствующие таким виртуальным камерам, как широкоугольная, нормальная и «вид сверху». Для этих виртуальных камер строятся также направляющие линии, т.е. линии, указывающие, как будет двигаться автомобиль при заданном положении руля. Эти преобразования используются в современных системах автомобильной навигации для улучшения восприятия водителем обстановки позади автомобиля. Визуализация направляющих линий оказывает дополнительную поддержку при продольных и поперечных парковочных маневрах. Алгоритмы интегрированы в систему проектирования CATIA (Dassault Systems).

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

*Boris Khaimovich Barladian, Elissey Dmitrievich Birukov, Alexey Gennadievich Voloboy, Sergey Valentinovich Ershov, Lev Zalmanovich Shapiro*

## **Simulation of rear camera for car navigation system**

Interactive algorithms of 2D mapping of an image produced by a standard "fisheye" camera to the virtual wide, normal and top down views are considered. Visualization of guidelines in the resultant views is elaborated. The guidelines show the car path depending on the rotation angle of the steering wheel. These mapping algorithms and guidelines visualization are used during developing modern car navigation and driver assistant systems. The algorithms are integrated into CATIA (Dassault Systems) CAD system.

**Key words:** rear camera, navigation, augmented reality, ray tracing

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 16-01-00552.

## 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 камеры кругового обзора, камеры заднего вида, системы мониторинга "мертвых зон", системы PARKTRONIC и активного парковочного помощника [1, 2]. Особенно сложными маневрами считаются парковка задним ходом и параллельная парковка. В связи с этим оборудование автомобилей парковочными системами с камерой заднего вида стало на сегодняшний день фактически стандартом для современных автомобилей. В настоящее время производители предлагают на рынке большое количество систем, использующих одну или несколько камер для обзора "мертвых зон" автомобиля [1-4]. Это могут быть как простейшие системы, просто передающие изображение, получаемое с данной камеры, на монитор, так и интеллектуальные системы, обеспечивающие полуавтоматическую парковку при движении задним ходом [2].

Важным аспектом этих систем является получение удобного для водителя изображения с камеры заднего вида. Для обеспечения максимального обзора камеры заднего вида используют широкоугольные объективы или объективы класса "рыбий глаз" с углом зрения 180 градусов и более [1-4]. В силу особенностей конструкции конкретного автомобиля камеру часто 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. При использовании объективов класса "рыбий глаз" необходимо также учитывать радиальную дисторсию и частотно-контрастную характеристику объектива данной камеры. Для повышения информативности получаемых изображений применяются различные алгоритмы исправления искажений и преобразования исходного изображения в изображения, которые могли бы быть получены с камер без искажений, с меньшим углом зрения или даже с камеры, смотрящей на автомобиль сверху (bird's eye view, top down [3 - 5]). Информативность этих изображений, отображаемых на экране автомобильного навигатора, может быть существенно улучшена с использованием технологии «дополненной реальности» [4] – визуализации поверх этих изображений направляющих линий, т.е. линий, показывающих, как будет двигаться автомобиль при заданном положении руля.

В настоящей работе рассматриваются интерактивные алгоритмы построения преобразований изображений, получаемых с помощью стандартной камеры «рыбий глаз», в более информативные для водителя представления.

Результатом работы разработанных алгоритмов является 2D отображение, описанное в формате, пригодном для реализации в аппаратной или программной части камеры или навигатора, установленных на автомобиле. Разработанные алгоритмы реализованы в виде плагина в системе САТИА [6, 7]. Плагин позволяет учитывать при моделировании радиальную дисторсию и частотно-контрастную характеристику объектива, вычислять экранные координаты точек направляющих линий и определять видимость, яркость и контрастность объектов в поле зрения камеры при заданных параметрах освещения. Плагин позволяет также подготавливать всю необходимую информацию для визуализации направляющих линий на экране автомобильного навигатора при различных положениях руля автомобиля.

## 2. Расширение интерфейса камеры

Существующий интерфейс камеры в системе САТИА обеспечивает задание параметров только для идеальной камеры обскура (pinhole camera). Для моделирования камер с объективом класса "рыбий глаз" с углом зрения 180 градусов и более, учета радиальной дисторсии и частотно-контрастной характеристики объектива стандартный интерфейс для камеры был расширен дополнительной закладкой **Inspirer Camera** (рис. 1).

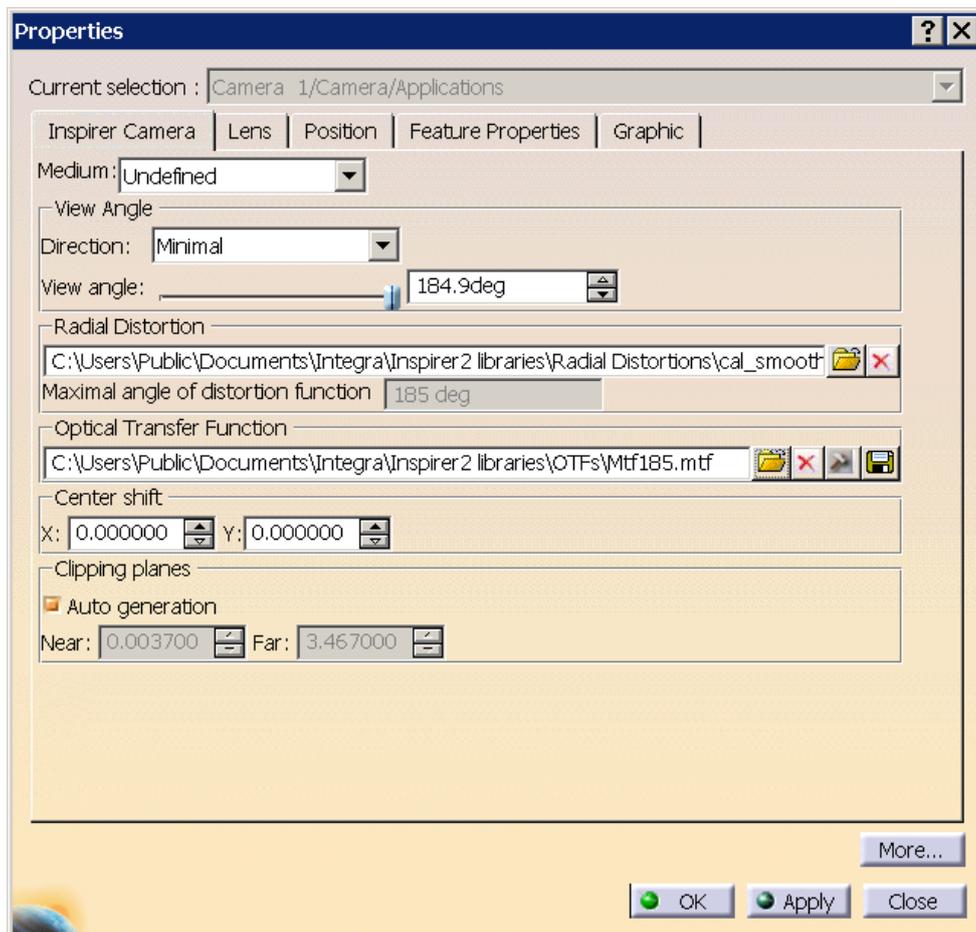


Рис. 1. Закладка для расширенных параметров камеры

Эта закладка позволяет устанавливать угол зрения камеры больше 180 градусов, вводить и редактировать файлы, описывающие радиальную дисторсию и частотно-контрастную характеристики объектива камеры. Соответствующие диалоги приведены на рис. 2. Предполагается, что характеристики радиальной дисторсии и частотно-контрастной характеристики объектива камеры определяются путем измерений или доступны у производителя камеры/объектива. Соответствующие интерфейсы позволяют получить наглядное представление о характеристиках объектива и дают возможности их редактирования.

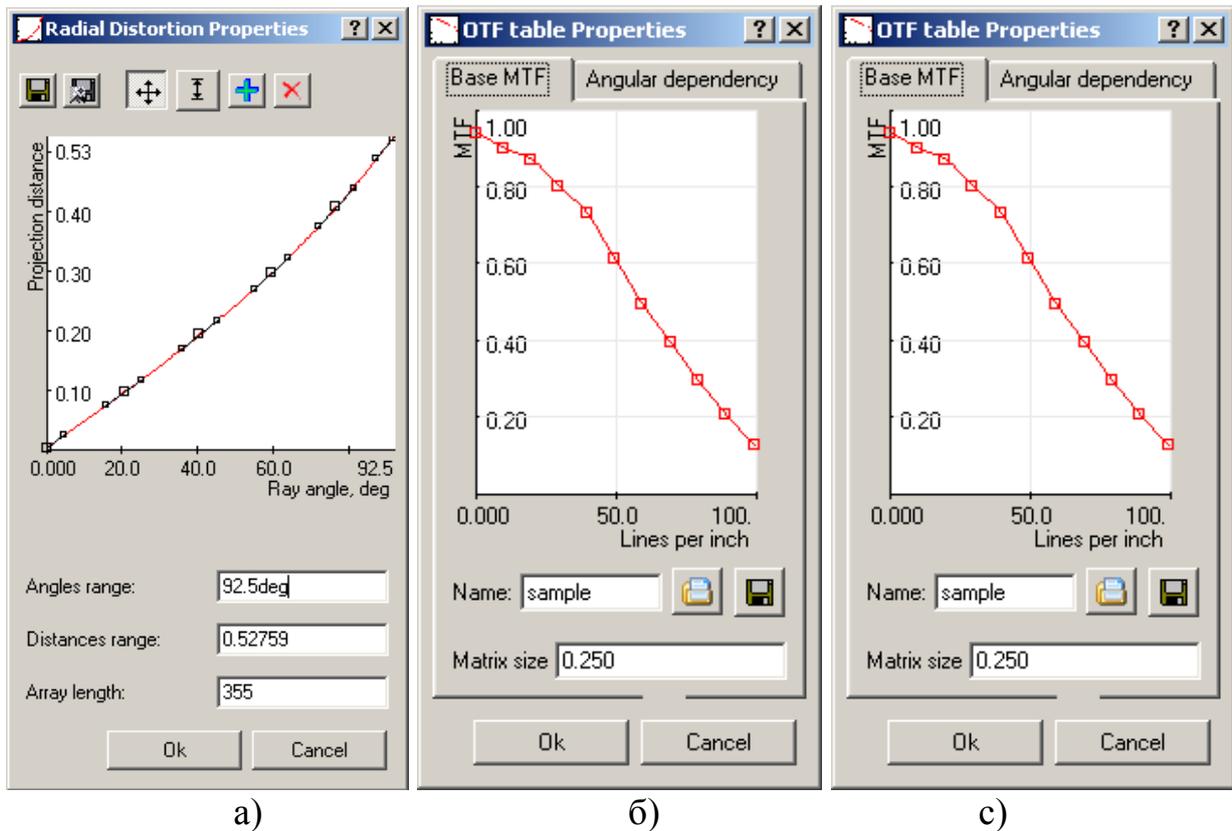


Рис. 2. Редактор функции радиальной дисторсии и частотно-контрастной характеристики; а) функция радиальной дисторсии; б) модуляционная передаточная функция; с) угловая зависимость

### 3. 2D отображение

Как было 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. Например, в работе [8] для представления преобразования исходное изображение разбивалось на 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 двухмерного отображения. На выходном изображении отображение определено в узлах некоторой регулярной сетки (рис. 3).

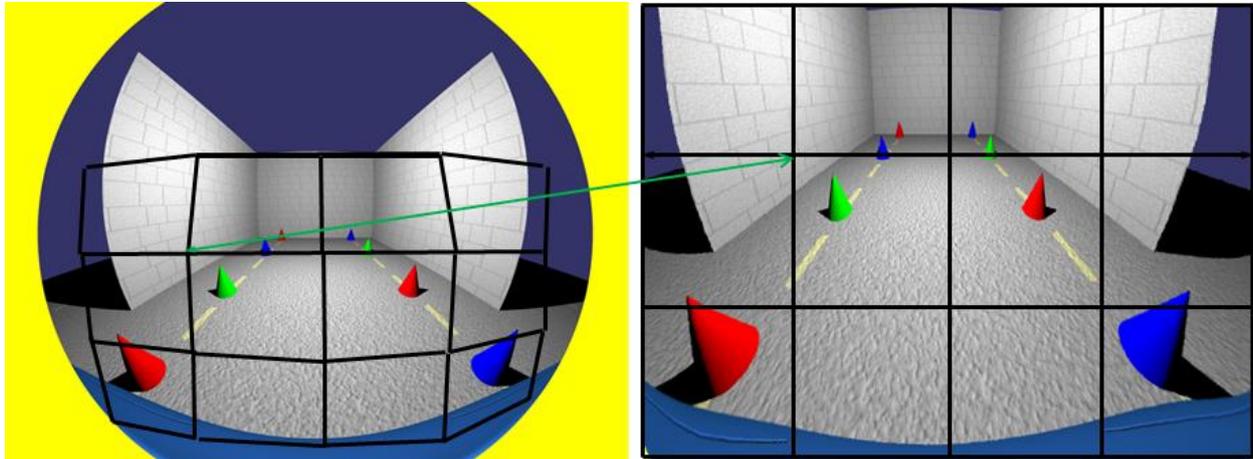


Рис.3. Преобразование изображения. Слева – исходное изображение, справа – преобразованное

Для каждого узла сетки на итоговом изображении строится соответствующая точка на исходном изображении. Для нахождения 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, имитирующее камеру, смотрящую на автомобиль сверху (см. раздел 5).

#### 4. Интерактивное создание 2D отображения

Как уже было упомянуто выше, изображения, непосредственно передаваемые с камеры заднего вида, не слишком удобны. Причинами этих неудобств являются специфическое 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 [4]. Фактически каждое из этих новых изображений является некоторой частью исходного изображения, части которого могут быть растянуты или сжаты. 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 была нами реализована в системе Lumiccept, интегрированной в систему автоматизированного проектирования САПР. Система позволяет строить реалистичные изображения методом трассировки лучей для камеры заднего вида с учетом положения и ориентации камеры относительно автомобиля и необходимого окружения.

На рис. 4 показано исходное изображение, полученное с камеры заднего вида.

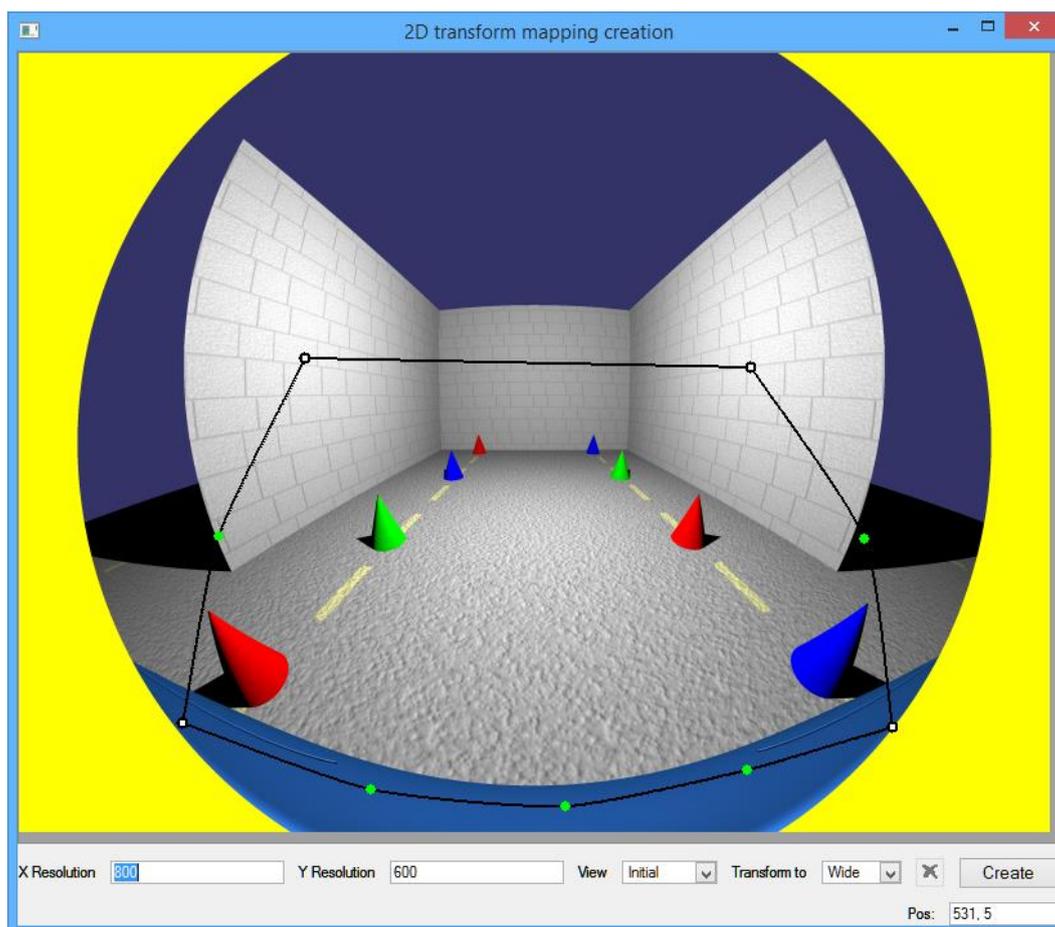


Рис. 4. Исходное изображение камеры заднего вида

Наша интерактивная система позволяет построить на нем контур, который будет являться границей соответствующего преобразованного изображения: широкоугольного, нормального или вида камеры, смотрящей на автомобиль сверху. Контур строится из четырех кривых, соответствующих левой, правой, нижней и верхней 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 3, необходимо на контуре, построенном пользователем на исходном изображении, построить точки, соответствующие однородной сетке производного изображения. Для этого нами был разработан и реализован 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 совпадение 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 3x2 (смещение, масштабирование и поворот), удовлетворяющая условию п.4, и все точки этого набора точек корректируются с помощью построенной матрицы.

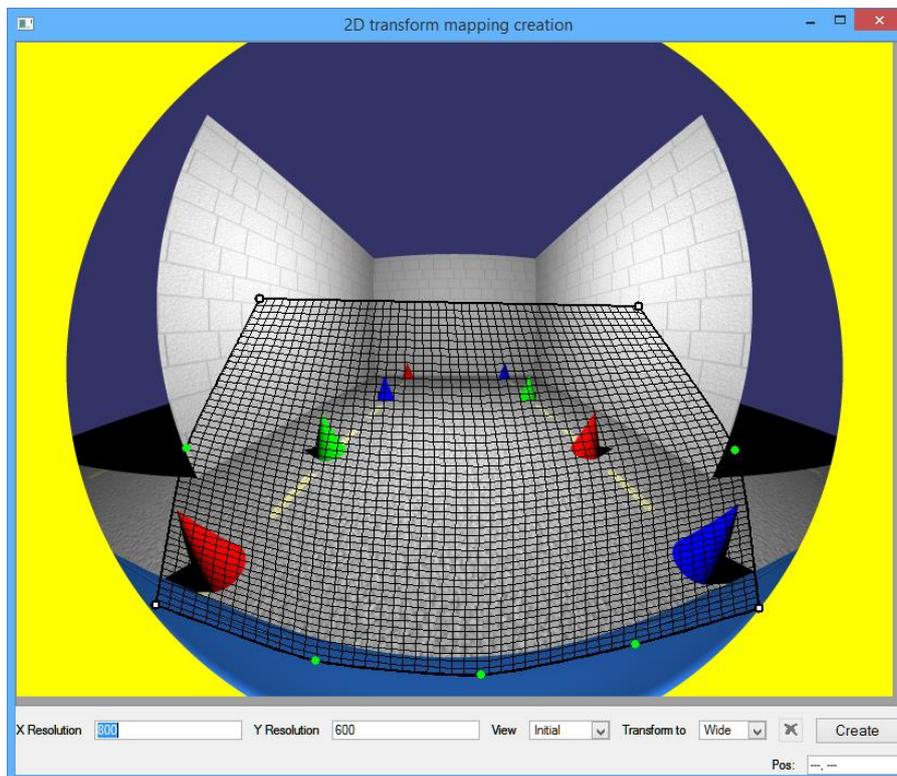


Рис. 5. Сетка точек для контура на рис. 2

Точки, построенные по описанному алгоритму, показаны на рис. 5 как вершины сетки. Результирующее изображение, полученное с помощью построенного отображения, показано на рис. 6.

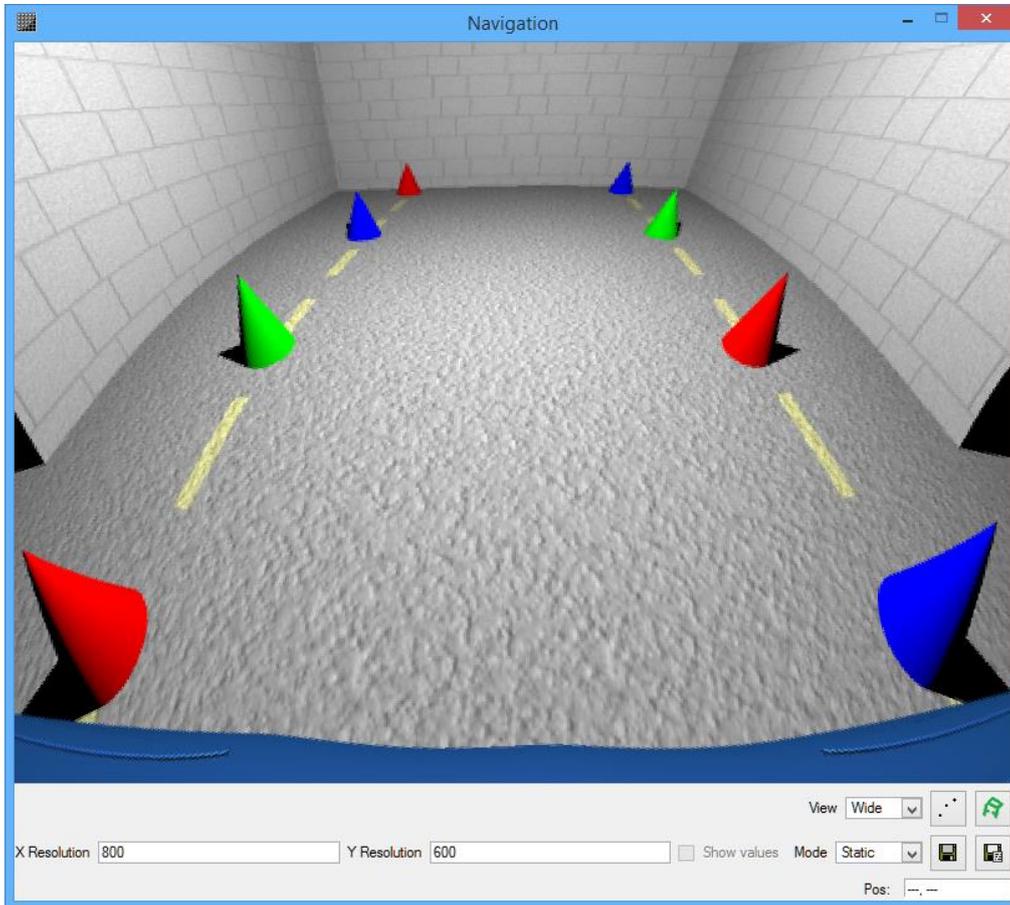


Рис. 6. Преобразованное изображение камеры заднего вида

## 5. Построение вида сверху

Описанный в разделе 4 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. Она 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.

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.

Все эти параметры (обе камеры и элемент сцены, который будет использоваться для определения плоскости «земля») задаются пользователем через графический интерфейс.

Процедура строит 2D отображение, описанное в разделе 3, которое затем используется для построения так называемого идеального вида сверху. Для построения этого 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 на изображении с камеры 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.

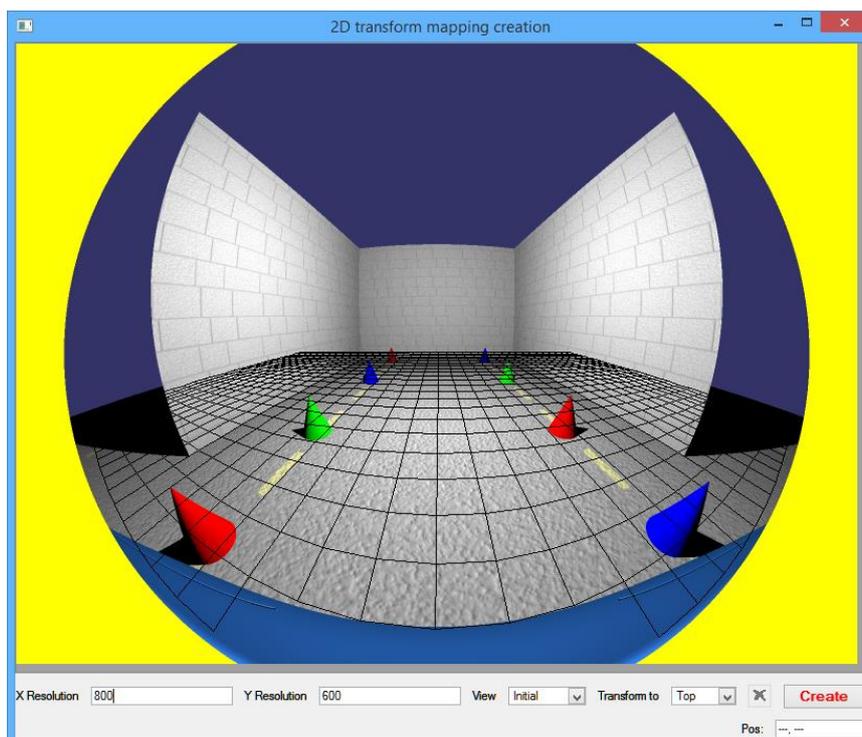


Рис. 7. Сетка для отображения в идеальный вид сверху

Точки, построенные по описанному алгоритму, показаны на рис. 7 как вершины сетки. Полученное с помощью описанной процедуры идеальное изображение для вида сверху приведено на рис. 8.

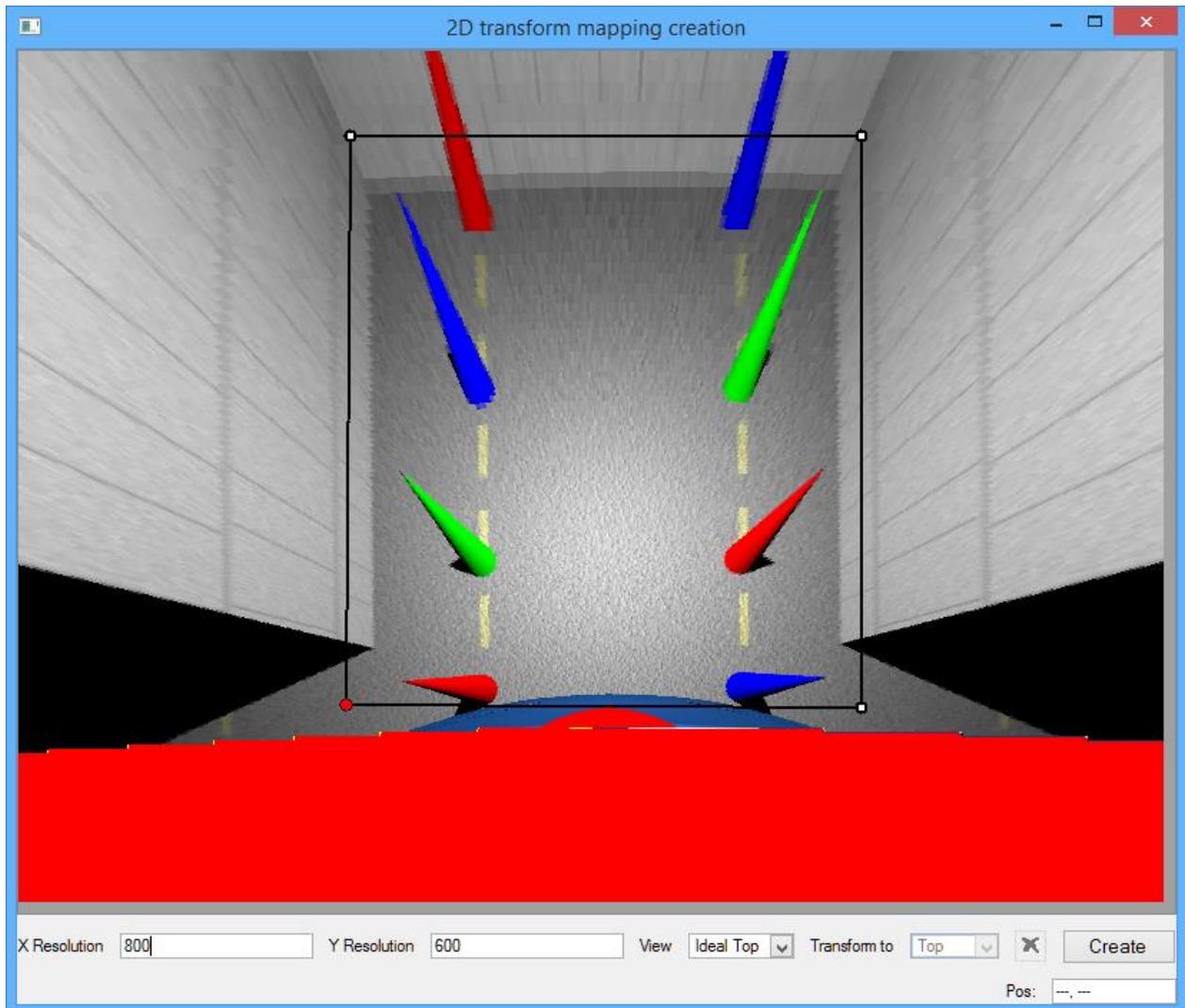


Рис. 8. Идеальное изображение для вида сверху

Стандартная процедура, описанная в разделе 4, позволяет вырезать из этого изображения наиболее полезную область с точки зрения водителя (разработчика навигатора). 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. 8, результирующее изображение приведено на рис. 9.

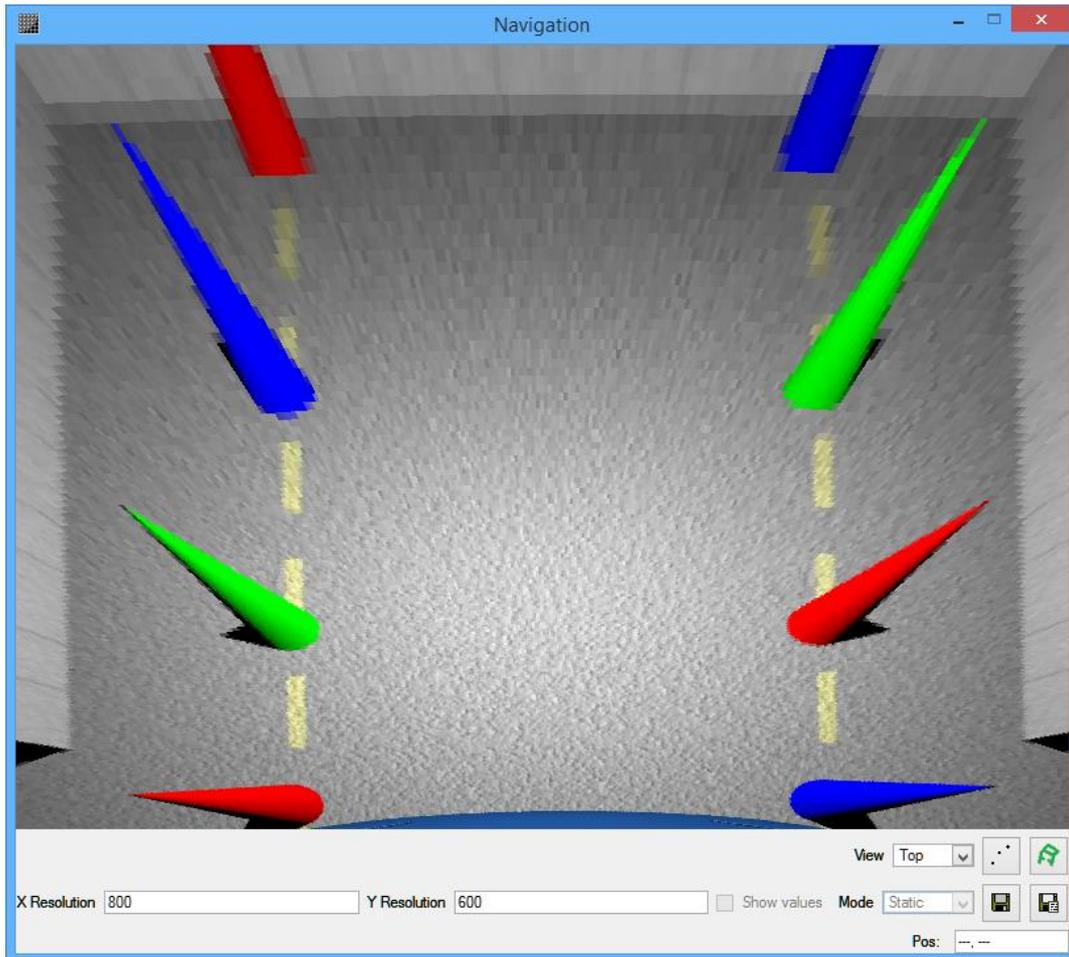


Рис. 9. Результирующее изображение для контура, приведенного на рис. 8

Следует отметить, что метод построения монитора кругового обзора, предложенный в работе [9] для получения изображения ортогональной (ортографической) камеры, расположенной над автомобилем, 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.

## 6. Построение направляющих линий

Информативность и полезность изображений камеры заднего вида, как исходного, так и преобразованных, на экране автомобильного навигатора может быть существенно улучшена с использованием технологии «дополненной реальности», которая позволит визуализировать поверх

изображения направляющие линии, т.е. линии, по которым будет двигаться автомобиль при заданном положении руля.

### 6.1 Параметры направляющих линий

Схема построения направляющих линий при движении задним ходом приведена на рис. 10.

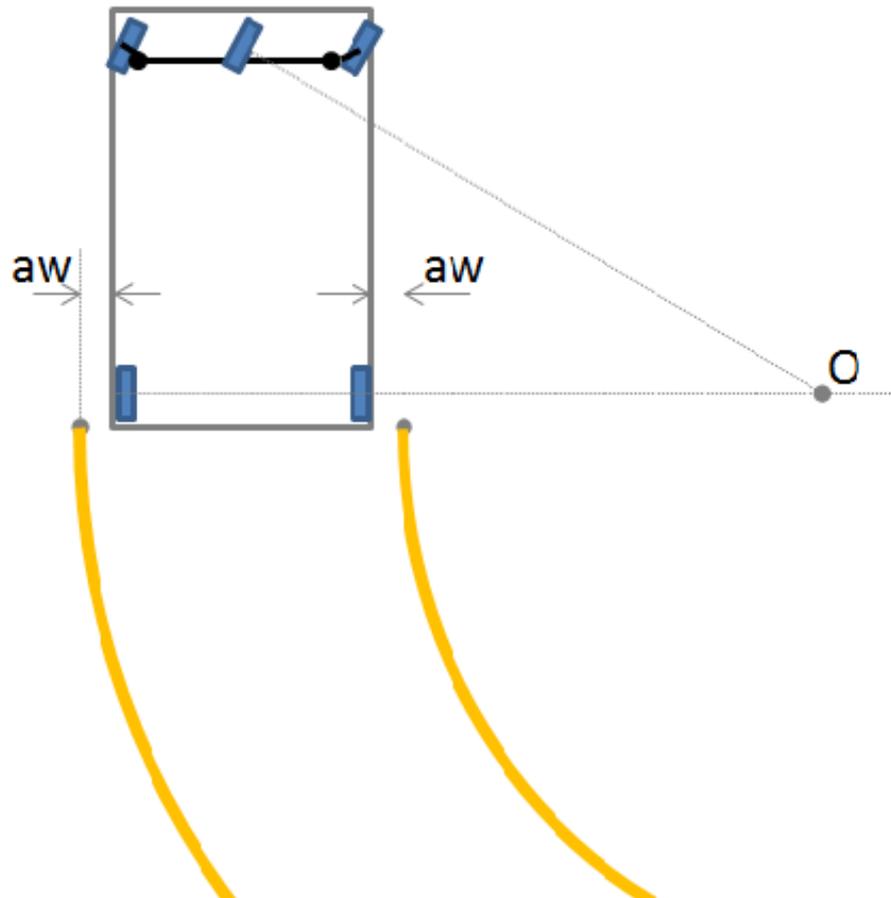


Рис. 10. Построение направляющих линий при движении задним ходом

Направляющие линии строятся как дуги окружности с центром в точке  $O$ , которая лежит на линии, соединяющей центры задних колес на расстоянии  $R_0$  от осевой линии автомобиля. Радиус  $R_0$  вычисляется по формуле

$$R_0 = wb / \tan(\alpha),$$

где  $\alpha$  есть средний угол поворота передних колес;

$wb$  – база автомобиля (расстояние между осями передних и задних колес).

Соответственно, радиусы внешних и внутренних дуг направляющих линий будут вычисляться по формулам:

$$R_{\text{внеш}} = R_0 + bw / 2 + aw;$$

$$R_{\text{внут}} = R_0 - bw / 2 - aw,$$

где  $bw$  – расстояние между центрами задних колес;

$aw$  – дополнительное расстояние для учета габаритов автомобиля.

Предполагается, что средняя точка оси передних колес имеет координату  $(0, 0, 0)$ , а средняя точка оси задних колес имеет, соответственно, координату  $(wb, 0, 0)$ .

В программе все эти параметры вводятся в закладке **Car** диалога, представленного на рис. 11.

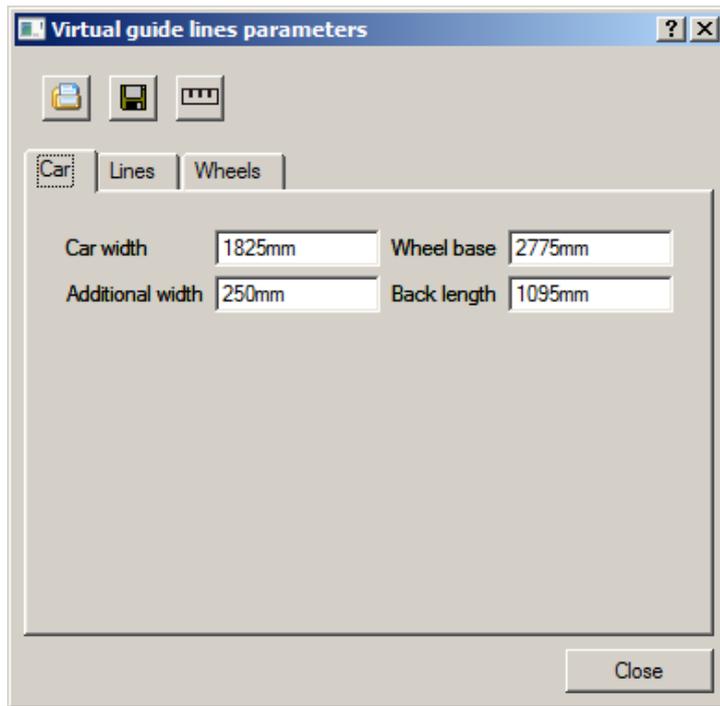


Рис. 11. Параметры автомобиля

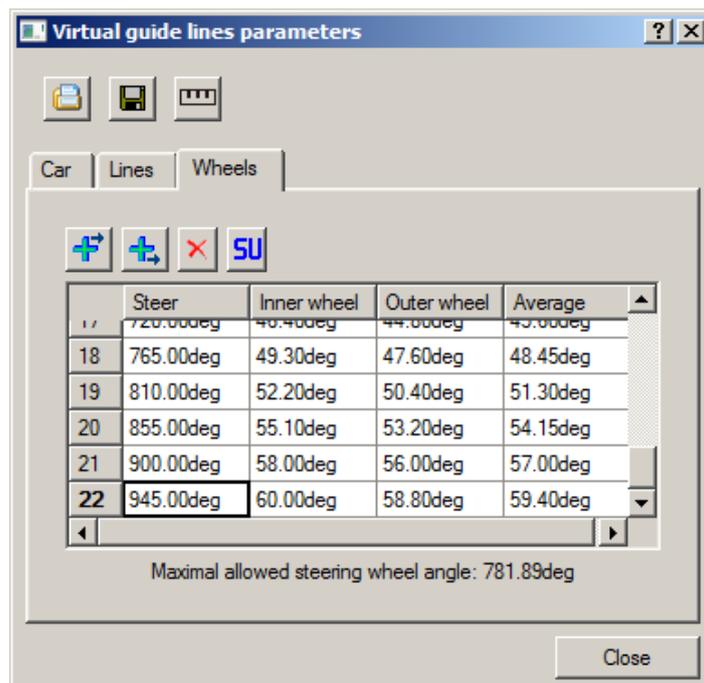


Рис. 12. Связь углов поворота руля и колес

Современные автомобили могут иметь сложную связь между углом поворота руля и углом поворота управляемых колес. Программа позволяет вводить эту зависимость в табличном виде в закладке диалога **Wheels**, приведенного на рис. 12.

## 6.2 Сцена для моделирования

Для построения направляющих линий кроме параметров, описанных в предыдущем разделе, необходима сцена, в которой задана камера, которая будет рассматриваться как камера заднего вида. Кроме этого, должен быть определен объект «земля», который можно рассматривать как плоскость, на которой будут строиться направляющие линии. Кроме этих двух обязательных объектов, сцена может содержать любые другие геометрические объекты и источники освещения. Эти объекты необходимы для определения контраста на стандартных объектах при освещении задними фарами, видимости этих объектов, перекрытия зоны видимости деталями автомобиля и т.д. Некоторые объекты могут добавляться в зону видимости камеры для улучшения понимания пользователем положения направляющих линий.

## 6.3 Визуализация направляющих линий

Направляющие линии строятся по формулам, указанным в разделе 6.1 для визуализации на экране автомобильного навигатора. Ряд дополнительных параметров, таких как начало и конец линий, смещения, количество и вид поперечин, количество точек и другие, контролируется пользователем с помощью таблиц в закладках **Guidelines points** и **Distance lines**, приведенных на рис. 13.

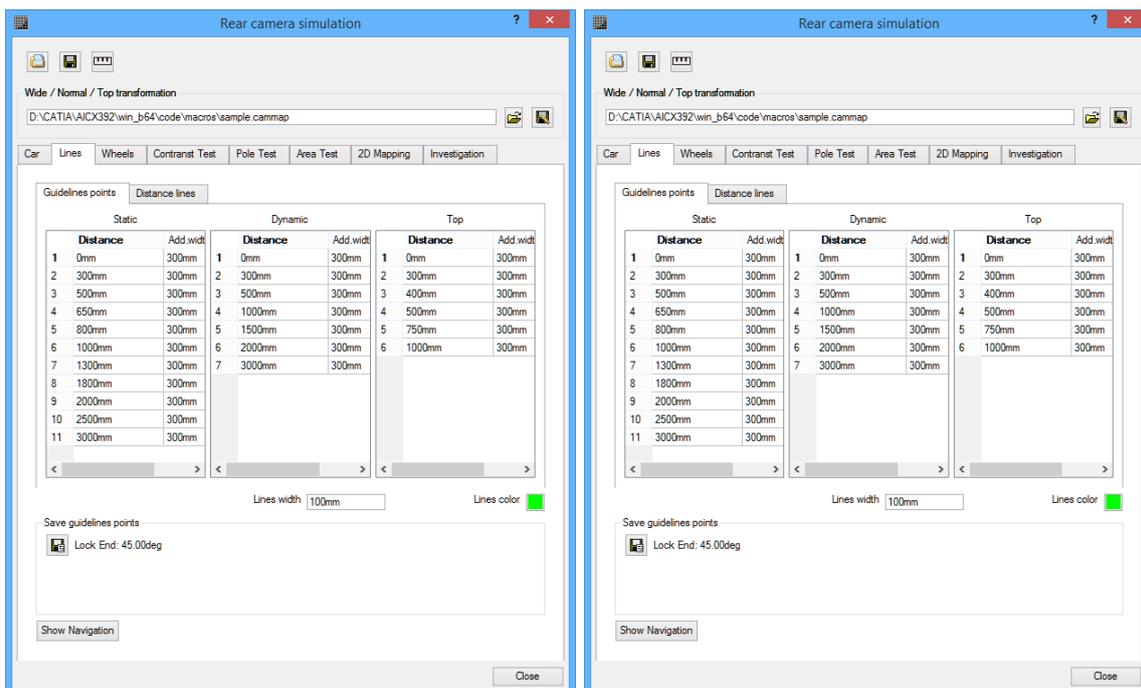


Рис. 13. Закладки **Guidelines points** и **Distance lines**

Результаты моделирования выводятся в виде набора экранных координат для заданных точек. Для каждого набора пользователь также задает угол поворота руля и виртуальную камеру навигатора, определенную двухмерным преобразованием, описанным в разделе 3. Эти параметры задаются непосредственно в окне **Navigation**, где построенные линии визуализируются и могут быть сохранены в файл.

Алгоритм построения направляющих линий работает следующим образом:

1. направляющие линии (точки) строятся на плоскости XY по формулам, описанным в разделе 6.1;
2. построенные линии проектируются на плоскость «земли»;
3. линии, построенные на плоскости «земли», отображаются на экранную плоскость с помощью модели камеры заднего вида с учетом радиальной дисторсии и частотно-контрастной характеристики объектива.

Линии, построенные на экранной плоскости камеры заднего вида, преобразуются в линии заданной виртуальной камеры навигатора с помощью соответствующего двухмерного преобразования, описанного в разделе 3.

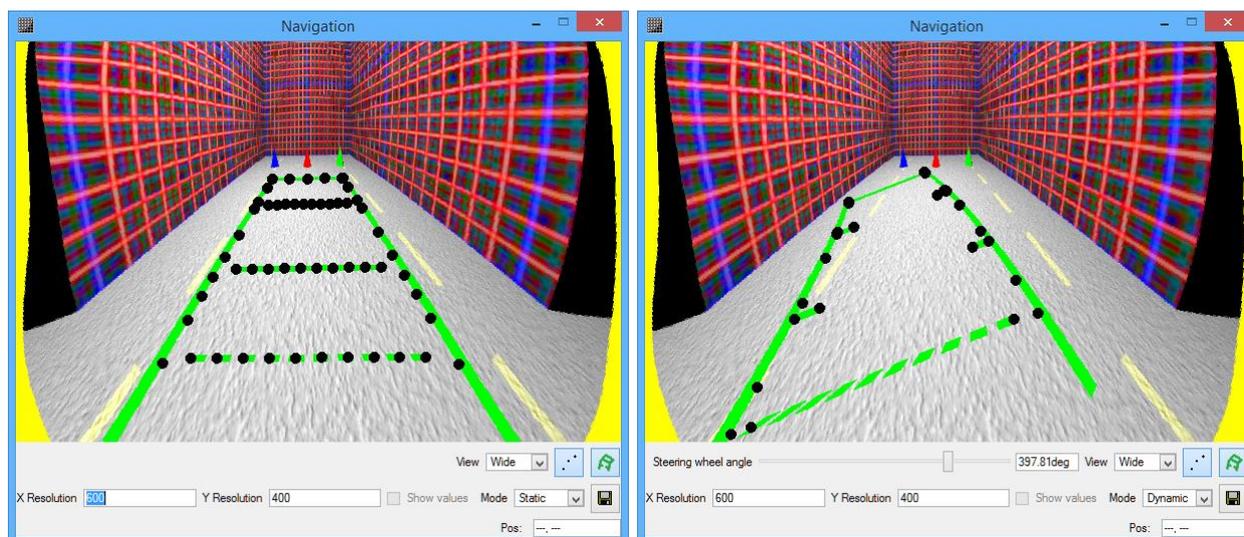


Рис. 14. Линии, построенные для камеры «Wide»

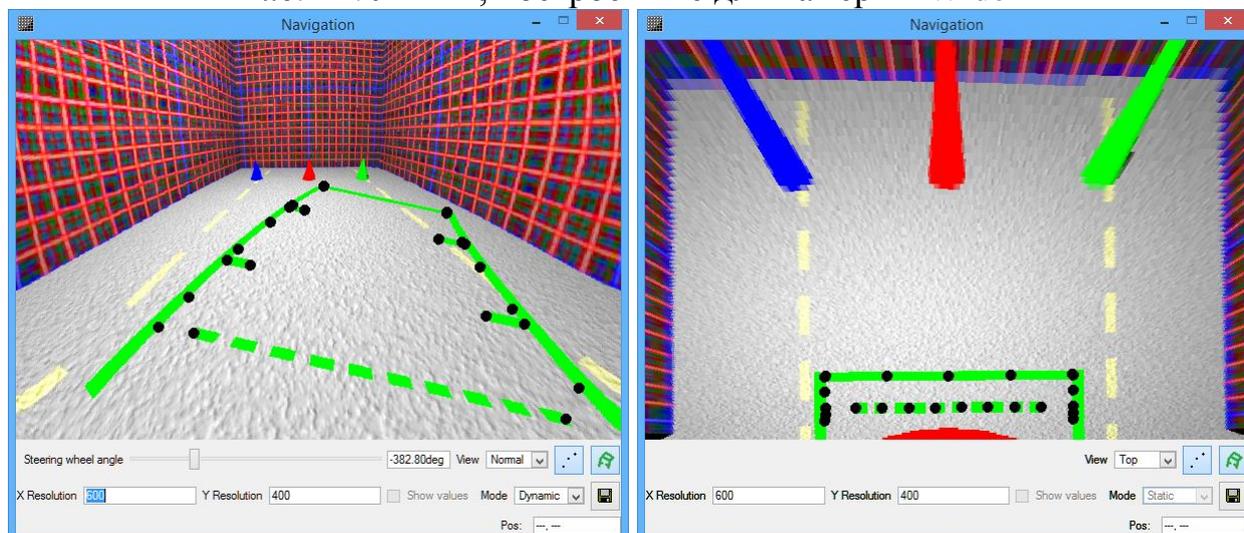


Рис. 15. Линии, построенные для «Normal» и «Top» камер

На рисунках 14 и 15 приведены примеры построения направляющих линий для виртуальных камер «Wide», «Normal» и «Top» при некоторых углах поворота рулевого колеса.

## **7. Заключение**

В последнее время разработка новых технологий, функций и свойств современного автомобиля практически невозможна без предварительного компьютерного моделирования. Это, в частности, обусловлено высоким уровнем автоматизации (компьютеризации) узлов автомобиля: в современном автомобиле работают десятки процессоров. Инженеры, дизайнеры и разработчики обычно работают в единой системе проектирования, для большинства производителей автомобилей это система CATIA. Поэтому стала необходима интеграция систем САПР и систем моделирования освещенности и построения физически аккуратных реалистичных изображений, которые долгое время развивались параллельно. Данная работа показывает, что такая интеграция также приводит к новым постановкам задач. Ранее подобные задачи решались с помощью физических экспериментов.

Разработанные алгоритмы построения 2D отображений и направляющих линий на экране навигатора встроены в программный комплекс расчета освещенности в системе CATIA. Построенные в подсистеме 2D отображения и направляющие линии для различных виртуальных камер используются в практической реализации аппаратной и программной частей реальной камеры заднего вида. Время построения 2D отображения в системе предварительного компьютерного моделирования не превышает нескольких секунд, время построения 2D отображения для идеального вида сверху может занимать несколько минут, если задать высокое разрешение сетки. Направляющие линии строятся практически в реальном времени. Потом все эти алгоритмы будут встроены непосредственно в процессоры автомобильного навигатора и все преобразования и построения будут выполняться в реальном времени.

## 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] Mercedes-Benz, company website,  
URL:[http://techcenter.mercedes-benz.com/ru\\_BY/360\\_degree\\_camera/detail.html](http://techcenter.mercedes-benz.com/ru_BY/360_degree_camera/detail.html)  
URL:[http://techcenter.mercedes-benz.com/ru\\_BY/reversing\\_camera/detail.html](http://techcenter.mercedes-benz.com/ru_BY/reversing_camera/detail.html)
- [3] NISSAN MOTOR CORPORATION, company website,  
URL:<http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/avm.html>
- [4] HONDA, company website,  
URL:<http://owners.honda.com/vehicles/information/2015/Fit/features/Rearview-Camera->
- [5] Бирюков Е.Д. Алгоритм коррекции изображения с широкоугольной камеры заднего вида автомобиля // Новые информационные технологии в автоматизированных системах: материалы восемнадцатого научно-практического семинара - М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 16 апреля 2015. С.4-10.
- [6] Dassault Systems, company website,  
URL:<http://www.3ds.com/products-services/catia/>
- [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. С.148-151.  
URL: [http://2013.graphicon.ru/files/2013/u8/Graphicon2013\\_proceedings.pdf](http://2013.graphicon.ru/files/2013/u8/Graphicon2013_proceedings.pdf)
- [8] Barladyan V.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. P.12-16.  
URL: <http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/dep20/publ2012/12-20.pdf>
- [9] 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. URL:  
[http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/dep20/publ2010/avm\\_gc2010.pdf](http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/dep20/publ2010/avm_gc2010.pdf)

## Оглавление

1. Введение.....	3
2. Расширение интерфейса камеры .....	4
3. 2D отображение.....	5
4. Интерактивное создание 2D отображения .....	6
5. Построение вида сверху .....	9
6. Построение направляющих линий .....	12
6.1 Параметры направляющих линий .....	13
6.2 Сцена для моделирования .....	15
6.3 Визуализация направляющих линий.....	15
7. Заключение .....	17
Литература .....	18