

Глобальный анализ изображений: детектирование и распознавание базисных информативных элементов дорожных сцен

К.И. Кий¹, Р.В. Досаев¹

¹Институт прикладной математики им. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, Москва, Россия, 145047

Аннотация. В работе описывается применение средств глобального анализа изображений, предоставляемых методом геометризованных гистограмм для детектирования и распознавания базисных элементов дорожных сцен. Рассматриваются применения к поиску постоянной и временной дорожных разметок, обнаружению стоп-линий и признаков выезда на перекрестки. Обсуждаются применения к обнаружению и пониманию дорожных знаков и сигналов светофоров. Проводится сравнение с другими известными методами решения описанных задач. Описываются алгоритмы решения рассматриваемых задач и программная реализация предложенных алгоритмов. Приводятся результаты работы программ на отдельных изображениях и видеопоследовательностях. Обсуждаются проблемы создания системы комплексного понимания дорожных сцен, включающего анализ дороги, обочины, других объектов на дороге, неба, разметки и дорожных знаков.

1. Введение

В докладе предлагается новый подход к детектированию и распознаванию базисных информативных элементов дорожных сцен, таких как дорожная разметка и дорожные знаки, сигналы светофоров и т.д. Данная тема является очень актуальной и ее приложения лежат в области создания советующих систем для помощи водителям (так называемым ADAS), внедряемых ведущими компаниями производителями автомобилей. Также данная тема очень важна для разработки систем управления беспилотных транспортных средств. Наличие нерешенных проблем в данной области подтверждается известными аварийными ситуациями с беспилотными автомобилями ведущих производителей (часто со смертельными исходами). Особенно актуально решение данных задач для стран с состоянием дорог и климатическими условиями, такими как в Российской Федерации. Наиболее современный обзор работ и полученных результатов в области детектирования и распознавания разметки опубликован в [1]. Необходимо отметить, что большинство работ посвящено нахождению разметки полосы, в которой находится автомобиль с камерой (lane detection). Это достаточно для построения систем предупреждения ухода автомобиля из полосы (так называемых LDDWS – lane departure detection warning system). Для целей автовождения необходимо решать более продвинутую задачу – находить также разметку соседних полос и полосы сплошной разметки ближайшие к собственной полосе автомобиля. Кроме того, необходимо следить за разметкой, когда автомобиль выезжает на дорогу с разметкой, проходя несколько полос. При этом сама разметка в кадре выглядит по-другому, и существенную роль играют заслонения, вызванные другими

участниками движения. Все это снимает упрощающие геометрические допущения, которые делают при отслеживании границ полосы движения, что значительно упрощает задачу. Движение на криволинейных участках делает невозможным применение методов, основанных на анализе прямых в кадре.

Первая публикация авторов на эту тему может быть найдена в [2]. Предложенный в [2] метод позволяет решать задачу обнаружения разметки на дороге в полной общности. В данной работе развиваются методы, предложенные в [2], и рассматриваются такие задачи как обнаружение и распознавание белой постоянной дорожной и временной окрашенной (в цвета от желтого до оранжево-красного). Также предлагается метод выделения временной дорожной разметки при наличии постоянной белой разметки. На этот счет нами не было найдено публикаций. Это связано с проблемами при работе с цветными изображениями в реальном времени [1]. Рассматриваются также вопросы, связанные с выделением стоп-линий и разметки пешеходных переходов. Приводятся алгоритмы нахождения дорожных знаков (преимущественно связанные с указанием порядка движения на перекрестках). Описываются алгоритмы поиска сигналов светофоров. В разделе 2 кратко описывается метод геометризованных гистограмм для содержательного описания и сегментации изображений. Приводятся его инструменты для глобального анализа изображений. В разделе 3 описывается применение этих инструментов для задачи обнаружения и распознавания дорожной разметки.

2. Метод геометризованных гистограмм: Глобальный анализ изображений

В отличие от основных методов сегментации изображений метод геометризованных гистограмм построен так, что основная обработка видеоданных может вестись параллельным образом. С помощью техники, описанной в [3–5], каждому цветному изображению ставится в соответствие структурный граф цветовых сгустков STG . Чтобы построить STG , изображение разбивается на полосы одинаковой ширины S_t , со сторонами параллельными горизонтальной или вертикальной оси плоскости изображения O_s . Вводится понятие геометризованной гистограммы изображения [3], которая является далеким обобщением обычной гистограммы. Однако обычная гистограмма является слабым инвариантом изображения, так как она остается инвариантной при любом взаимно-однозначном преобразовании прямоугольника изображения. В ней совершенно не учитывается геометрия объектов изображения. В то время как геометризованная гистограмма остается инвариантной только относительно преобразований внутри полос, при которых точки передвигаются перпендикулярно оси O_s . Так как мы имеем дело с узкими полосами, эти преобразования почти не меняют геометрии объектов, принадлежащих изображению.

Геометризованная гистограмма достаточно точно описывает распределение значений функции, задающей изображение в прямоугольнике изображения. Получается геометризованная гистограмма с помощью проектирования пикселей полосы на ее нижнее основание. Для монохромного изображения [3], ввиду дискретного характера изображений, проекция множества L_z уровня значения z функции, задающей изображение, на нижнее основание полосы есть объединение интервалов $Pr(L_z) = \cup_k I_{kz}$ на нижней оси полосы. Чтобы сравнивать множество уровней в разных полосах, можно считать, что все интервалы лежат на оси O_s . Объединение систем интервалов по всем полосам хорошо описывает распределение значений монохромной функции, задающей изображение. Эта конструкция обобщается на случай векторной функции, задающей цветное изображение [3]. Удастся при проектировании разделить всё множество точек полосы на подмножества, в которых насыщение, оттенок и яркость варьируются в некоторых диапазонах. В каждой полосе получаются системы интервалов, каждый из которых S_g характеризуется следующими параметрами:

- Положение интервала $[beg_{S_g}, end_{S_g}]$ S_g на оси O_s .
- Диапазон $\Delta_H^{S_g} = [H_{min}^{S_g}, H_{max}^{S_g}]$ и среднее значение оттенка $H_{mean}^{S_g}$.
- Диапазон $\Delta_S^{S_g} = [S_{min}^{S_g}, S_{max}^{S_g}]$ и среднее значение $S_{mean}^{S_g}$ насыщения.
- Диапазон $\Delta_I^{S_g} = [I_{min}^{S_g}, I_{max}^{S_g}]$ и среднее значение яркости $I_{mean}^{S_g}$.

- Мощность интервала $Card^{Sg}$ (приблизительно равна числу точек полосы, лежащих в полосе над интервалом с цветовыми характеристиками, заключенными в интервалах, указанных выше для Sg на оси O_s).

Обозначим $dens(Sg) = Card^{Sg} / (end_{Sg} - end_{Sg} + 1)$ плотность интервала Sg .

Существенным свойством алгоритма получения геометризованной гистограммы в полосе является то, что она может быть получена за один проход массива точек полосы. Это обеспечивает ее получение в реальном времени. Объединение геометризованных гистограмм полос дает геометризованную гистограмму изображения. С помощью оригинальной операции кластеризации [3] интервалы геометризованной гистограммы объединяются в цветовые сгустки g , которые характеризуются такими же, как и у интервалов Sg , составляющих данный сгусток, яркостно-цветовыми параметрами, мощностью и плотностью. Цветовые сгустки объединяются в граф. В полосе соединяются ребром соседние цветовые сгустки (с соседними интервалами локализации), а в соседних полосах – цветовые сгустки, интервалы локализации которых пересекаются. Неформально, каждый сгусток дает описание некоторой части реального объекта в полосе, его проекцию на ось O_s и описание значений численных цветовых характеристик этой части объекта. STG можно интерпретировать геометрически с помощью наложения интервалов локализации его сгустков ($[beg_b, end_b]$) на центральную линию соответствующей полосы и окрашивания этих отрезков в цвет, определяемый $H_{mean}^b, S_{mean}^b, I_{mean}^b$. Примеры цветовых сгустков, наложенных на цветные изображения, можно посмотреть в открытом доступе в [2, 6]. Приведенные изображения показывают, что граф цветовых сгустков хорошо описывает яркостно-цветовые свойства изображений и геометрию реальных объектов в полосах и в изображении в целом. Цветовые сгустки являются аналогом суперпикселей, применяемых в классических методах сегментации.

2.1. Построение поисковой решетки на графе STG

На множестве цветовых сгустков строится “решетка поиска” SearchLat (STG) [5], которая позволяет производить глобальный анализ изображения. Если мы положим на среднюю линию каждой полосы разбиения изображения интервалы геометрической локализации $[beg_b, end_b]$ всех цветовых сгустков полосы, то получаем некоторое ее покрытие. Введем плотность цветового сгустка как $dens(b) = Card^b / L([beg_b, end_b])$ (мощность, деленная на длину интервала). Цветовые сгустки, имеющие в некоторой точке средней линии максимальную плотность, называются доминирующими цветовыми сгустками. Ясно, что доминирующие цветовые сгустки образуют покрытие средней линии. Оказывается [5], что всегда можно выбрать линейно-упорядоченную последовательность базисных цветовых сгустков, которые образуют покрытие средней линии. Доминирующие цветовые сгустки, включенные в линейно-упорядоченное покрытие, называются базисными цветовыми сгустками. Базисные цветовые сгустки всех полос образуют решетку поиска изображения SearchLat (STG) [5]. Многие задачи по поиску ориентиров и объектов в кадре, можно переформулировать строго как задачи поиска некоторых абстрактных объектов на графе цветовых сгустков.

2.2. Построение глобальных объектов с помощью метода геометризованных гистограмм

Под глобальными объектами понимаются подмножества множества цветовых сгустков, содержащие цветовые сгустки, расположенные в нескольких соседних полосах. Глобальные объекты строятся из левых и правых ростков глобальных объектов (левых и правых контрастных кривых) [4]. Для областных объектов ростки состоят из доминирующих сгустков, имеющих контрастные яркостно-цветовые характеристики по отношению к своим соседям. Для целей сегментации в [4] определен двудольный граф левых и правых ростков глобальных объектов или контрастных кривых LRG . Если изображение разбито на горизонтальные полосы, то, неформально, левый или правый росток глобального объекта есть цепочка цветовых сгустков в соседних полосах с подобными цветовыми характеристиками. При этом левые или правые концы цветовых сгустков меняются от полосы к полосе “непрерывно”, и соседние в той же полосе слева или справа цветовые сгустки имеют контрастные цветовые характеристики. Эта цепочка строится снизу вверх, переходя из полосы в полосу [4]. Когда мы работаем с

цепочками цветовых сгустков, представляющими дорожную разметку, то необходимо иметь ввиду, что, из-за неравномерного освещения и теней, яркостные и цветовые характеристики соответствующих цветовых сгустков могут сильно меняться. В следующем подразделе будут описаны принципы построения цепочек цветовых сгустков, которые могут представлять на изображении дорожную разметку.

2.3. Принципы построения объектов на графе цветовых сгустков, которые рассматриваются как кандидаты на образ разметки на STG

Методы построения кандидатов на образ разметки в STG были кратко намечены в [6]. Приведем их более детальное описание. Важной особенностью подхода является то, что задача поиска дорожной разметки решается без информации о внутренних и внешних параметрах камеры, снявшей рассматриваемое изображение. Выводы о метрике кадра будут сделаны после того, как система понимания изображения выделит разметку на изображении. Эти выводы будут использоваться на последующих кадрах видеопоследовательности.

Если решается задача нахождения достаточно “тонких” объектов, таких как дорожная разметка, рассматриваются цепочки цветовых сгустков, которые принадлежат соседним полосам и включают как доминирующие, так и доминируемые цветовые сгустки [6]. Ясно, что для частей дорожной разметки, принадлежащих удаленным полосам разбиения изображения, соответствующие цветовые сгустки имеют меньшую плотность, чем цветовые сгустки, порожденные дорожным полотном. Кандидатов на образ разметки в STG строят из цепочек цветовых сгустков, которые признаны кандидатами на части разметки в соответствующей полосе. Цветовые сгустки, которые могут быть образами в STG частей разметки (белой – постоянной или цветной – постоянной или переменной) отличаются от цветовых сгустков, которые являются образами частей дороги яркостью или яркостью и цветом, а также плотностью и длиной соответствующих интервалов локализации $[beg_b, end_b]$. Так как на дороге могут находиться помехи в виде других участников движения, луж, пятен грязи, влажных частей, пересветок от фонарей и систем освещения автомобилей, отличия в параметрах между соседними сгустками могут быть как двусторонние, так и односторонние. Так как образы участков дороги порождают базисные цветовые сгустки из поисковой решетки SearchLat, то строится система рассуждений, которая сравнивает параметры определенного цветового сгустка с параметрами соседних цветовых сгустков из SearchLat и делает заключение о принадлежности данного сгустка к множеству кандидатов на образ дорожной разметки в части STG, относящейся к данной полосе. Для определения отличия по яркости вводятся только небольшие пороги на уровне заметности различия (порядка нескольких градаций яркости), которые имеют место между разметкой и дорогой при изменении освещенности в широких пределах.



Рисунок 1. Стадии построения белой разметки и результат.

Пример изображения с выделенной разметкой, соответствующего полутонового изображения с нанесенными цветовыми сгустками, и полутонового изображения с нанесенными кандидатами на образ разметки приведен на рисунке 1. Кандидаты на образ разметки в полосах получены с помощью решетки SearchLat, с помощью метода, описанного выше. Поскольку нет предположения, что автомобиль находится на дороге, то таким образом можно искать разметку на площади и парковочном месте. Так как нет данных о параметрах камеры и положении автомобиля на дороге, то некоторые кандидаты выглядят странно, но при

построении цепочек и распознавании истинных кандидатов ложные кандидаты убираются из рассмотрения.

Опишем правила формирования цепочек кандидатов на части разметки в полосах. Данные цепочки будут называться кандидатами на образ разметки в *STG*. Цепочки конструируются снизу вверх, начиная с нулевой – нижней строки. Все сгустки, попавшие в некоторый кандидат, удаляются из дальнейшего рассмотрения. Пусть уже построена цепочка сгустков $b_i, i = 0, \dots, k$, расположенных в цепочке соседних полос. Обозначим $Int_i = [beg_i, end_i]$ интервалы локализации сгустков b_i , e_i – вектора, соединяющие концы интервалов Int_{i-1} и Int_i , и D_i – вектора направлений, соединяющие концы Int_0 и Int_i . При построении непрерывных левых цепочек имеются в виду левые концы интервалов, при построении правых – правые. Так как нет предположений о положении автомобиля на дороге относительно дороги, то на первом шагу требуется только чтобы интервалы Int_0 и Int_1 имели бы сильное пересечение. Вводим в рассмотрение приведенные векторы направления $d_i = D_i/(i - 1)$. Вектора e_i и d_i имеют координату x равную ширине полосы, и угол их отклонения параметризуется координатой y . Условия непрерывности формулируются в терминах связей между векторами e_i и d_i и ограничениями на скачки соответствующих углов, но таких, что они не выполняются на криволинейной разметке. Применяя эти правила, мы получаем набор кандидатов на образ разметки в *STG*. Вводятся матрицы следов разметок на множествах кандидатов на часть разметки в полосе. С помощью матрицы следов показано, через какие кандидаты на разметку (левые и правые отдельно) проходят в конкретных полосах построенные кандидаты на образы глобальной разметки в *STG*. С помощью следовых матриц устанавливаются связи между левыми и правыми кандидатами на глобальную разметку. Связанные кандидаты проходят через одинаковые сгустки в полосах. На самом деле каждый реальный кандидат левый или правый имеет небольшое число связанных кандидатов. Поскольку реальная разметка должна порождать левого и правого кандидата, которые проходят по одним и тем же цветовым сгусткам – образом этой разметки в полосах *STG*. В идеальном случае, одному левому кандидату соответствует один правый. В случае ошибок сегментации связанный кандидат может разбиться на несколько связанных кандидатов. Это происходит когда, когда, например, в одной части полосы разметка частично стерлась или из-за помехи слилась с каким-то другим объектом (частью автомобиля).

3. Распознавание дорожной разметки на основе кандидатов, построенных на *STG* и сравнение с другими методами

Среди построенных непрерывных цепочек кандидатов на часть разметки в полосах, т.е. образов разметки в *STG* могут содержаться ложные цепочки, например, цепочки, определяемые отбойником, другими участниками движения, влажными местами и т.д. Наличие таких ложных объектов отмечается во всех основных работах на данную тему [1, 8]. Первым делом производится анализ формы кандидатов на образ разметки. Для этого используются методы разработанные в [5]. Для каждого кандидата проверяется гипотеза прямолинейности и предписывается некоторый условный наклон. Для криволинейных участков определяется некоторый показатель кривизны. Метод определения наклона устойчив относительно ошибок сегментации и основан на анализе гистограмм наклонов между отдельными точками цепочки [5]. Для отбрасывания ложной разметки изучается связь между левыми и правыми кандидатами, описанная в предыдущем разделе. Если все кандидаты имеют предписанные наклоны и другие параметры, то проверяется их близость. На основе этих оценок цепочкам присваиваются некоторые индексы достоверности. Используя такие параметры, как длина цепочки, номер начальной полосы, координаты точки пересечения продолжения цепочки вниз с основанием изображения, расположением цепочки относительно центра изображения, поведением продолжения цепочки на бесконечность относительные расстояния между цепочками, выделяется группа цепочек, которые имеют согласованное поведение. Эта группа задает базисные элементы разметки. Выделяются ближайшие к центру цепочки и некоторые цепочки интерпретируются как продолжающие друг друга (прерывистая разметка). Также выделяются ближайшие левые и правые кандидаты на сплошную разметку. После выделения базисных кандидатов и определения расположения их относительно друг друга, остальные

кандидаты проверяются на соответствие базисным. Не прошедшие проверки кандидаты отбрасываются. Выбранные кандидаты дают основу работы со следующим кадром. Подобные процессы и заполнение следовых матриц проводятся отдельно для кандидатов на желтые и белые разметки. Кандидаты на желтую разметку начинаются с цветовых сгустков, у которых яркостно-цветовые характеристики находятся в желто-оранжевой области. В качестве начальных сгустков берутся сгустки с достаточно высоким цветовым насыщением. Далее допускается падение насыщения (что действительно происходит на изображениях, получаемых реальными камерами). Примеры результатов работы данной системы рассуждений в виде кадров из протокола обработки видеопоследовательности приводятся на рисунке 2.



Рисунок 2. Примеры из протоколов обработки видеопоследовательности.

3.1. Сравнение с другими методами детектирования дорожной разметки и преимущества разработанного метода

В качестве основного источника о предыдущих разработанных методах детектирования дорожной разметки использовалась статья [1]. Также с большой пользой использовался библиографический обзор в [8]. Кроме того, проводился дополнительный анализ библиографии, процитированной [2]. В статье [2] уже проводился некоторый сравнительный анализ предложенного метода и методов, разработанных ранее. Подведем некоторые итоги сравнения.

1. Разработанный метод не требует данных о внутренних и внешних параметрах камеры и работает при резком изменении наклона полотна дороги, в отличие от методов, использующих эти параметры при нахождении разметки.
2. Метод создает большой список кандидатов на разметку, включая отбойники, столбы, части автомобилей на дороге, влажные места, и всякие узкие объекты в окрестности дороги. Далее на основе логического выделяются истинные части дорожной разметки.
3. Каждый обработанный кадр дает удобное описание списка найденных деталей разметки таких как наклоны, кривизна, расстояния между ветвями разметки, их характер, яркостно-цветовые характеристики. Эти данные могут быть быстро и эффективно применены на следующем шаге для оценки следующего кадра.
4. Метод не предполагает ограничений на форму разметки и эффективен при резком изменении формы временной разметки, в отличие от методов, основанных на преобразованиях Хафа. Также удастся находить разметку соседних полос и строить разметку на отдаленных участках дороги.
5. Метод тонко учитывает цветовые характеристики разметки и позволяет отделить временную разметку от постоянной в случае загрязненной разметки.
6. Метод работает с частично стертой и загрязненной разметкой, характерной для зимне-весеннего периода в странах с климатом похожим на тот, что имеет место в РФ.
7. Метод имеет высокое быстродействие на видео высокого разрешения (1280x720, 1920x1080) и достигает этого быстродействия на стандартных персональных компьютерах.
8. В то же время одновременно с нахождением разметки производится полная сегментация кадра и выделяются такие важные объекты как небо, обочины, дорожное полотно, другие участники движения, опасные объекты, такие как столбы вблизи дороги, что позволяет проводить семантический анализ дорожной сцены даже тогда, когда часть модулей системы работает ошибочно.

На обработке видеопоследовательностей проведено исследование быстродействия разработанного метода. Исследование проводилось в двух режимах [9]: 1. С распараллеливанием работы по полосам обработки изображения (on), 2. Без распараллеливания (off). При этом не только находилась разметка, но и решался весь комплекс задач по сегментации. Результаты показаны на Рис. 3.

Multithreading state	Num of strips	640x480	1280x720	1920x1080
Off	48	25,381	59,1323	118,512
On	48	10,2064	18,8395	36,169
Off	72	29,9551	66,3633	124,652
On	72	16,3946	22,6448	38,6855
Off	108	35,3268	76,5239	136,415
On	108	24,1019	29,0153	41,0169

Рисунок 3. Оценки быстродействия системы в мс для разных разрешений кадра и числа полос разбиений кадров видеопоследовательности дорожных сцен.

Быстродействие оценивалось на видеопоследовательности длиной 1400 кадров, которая может быть найдена на сайте [10] с нанесенными результатами нахождения разметки. В частности, для полного видео с кадрами 1920x1080 получен результат быстродействия более 25 fps. Работа над созданием логической системы верификации результатов находится в процессе развития и отдельные недостатки, имеющиеся в результатах обработки, активно устраняются.

4. Выделение и анализ стоп-линий, сигналов светофоров, дорожных знаков

Эти элементы необходимо оценивать при выработке режима управления при выезде на перекресток автономного автомобиля, а также для предупреждения водителя об этой ситуации в системах помощи водителю. При наличии даже грубой калибровки ближней зоны камеры (приблизительное расстояние автомобиля до верхних границ ближайших полос изображения) легко выделить сплошную разметку в окрестности автомобиля. Сплошная разметка слева и справа есть один из признаков приближающейся стоп-линии. Как показывает обработка большого числа изображений, на достаточном удалении, стоп-линия на *STG* выделяется одним или несколькими второстепенным цветовыми сгустками в некоторой полосе изображения перед автомобилем, которые в совокупности или один перекрывают полосу между сгустками, отмечающими сплошные линии разметки полосы. Яркостно-цветовые характеристики этих сгустков близки к яркостно-цветовым характеристикам сгустков разметки. Поиск таких сгустков производится простым перебором цветовых сгустков для некоторого числа полос в нижней части изображения и выбором цветовых сгустков с подходящими интервалами локализации. Далее производится такой выбор на следующих изображениях. Начиная с некоторого кадра, такие сгустки становятся доминирующими. Вырезается часть изображения, содержащая кандидатов на части стоп-линии. Используя разбиение вырезанного изображения на вертикальные полосы, стоп линия точно локализуется по вертикали. В случае необходимости (запрещающий сигнал светофора, знак стоп, уступи дорогу) осуществляется остановка у стоп-линии при движении с обратной связью по зрению.

Важной частью планирования движения на регулируемых перекрестках является обнаружение светофоров и определение их состояния. Метод геометризованных гистограмм позволяет обнаруживать контрастные окрашенные объекты размером от трех пикселей. Для раннего обнаружения светофоров необходимо работать с видео высокого разрешения в реальном времени. В настоящее время с помощью распараллеливания программы построения *STG* с использованием много-поточного программирования на современных стандартных процессорах с 4 ядрами достигнута скорость обработки более 35 fps для видео с кадрами размера 1280x720 (около 15 fps для 1920x1080) при рабочей частоте процессора порядка 3.5 GHz [9]. При работе большого числа программ распознавания (небо, дорога, обочина,

разметка, светофоры, и т.д.) само распознавание занимает мене 10мс, а основное время приходится на работу с массивом изображения для построения *STG*. Включенный сигнал светофора характеризуется достаточно большим цветовым насыщением и яркостью, и малым размером. С помощью поиска по верхним полосам *STG* выделяются все кандидаты на сигнал светофора. На первой стадии обнаружения они, как правило, принадлежат к доминируемым сгусткам. Реальный сигнал светофора дает цепочку таких сгустков на последовательности кадров, движущихся на поверхности экрана в определенном направлении. Поиск одновременно ведется в трех цветовых диапазонах: зеленом, желтом и красном. Таким образом, удается отслеживать момент переключения светофора.

Другим важным элементом анализа движения при приближении к перекрестку является обнаружение и распознавание дорожных знаков. Дорожные знаки, относящиеся к движению на перекрестке (уступи дорогу, стоп, главная дорога, определение движения по полосам и т.д.) содержат информативные цветные компоненты и даже сочетание этих компонент (зеленая и голубая в знаке (пешеходный переход). Эти компоненты как правило имеют высокое цветовое насыщение и могут быть эффективно найдены методом геометризованных гистограмм. После нахождения места кандидата на дорожный знак, небольшой массив его окрестности вырезается из изображения и для него строится *STG*. Разработаны методы, которые позволяют выделять на *STG* характерные геометрические элементы (прямоугольники, ромбы, треугольники и т.д.). Эта специфическая техника будет опубликована в отдельном.

Существенным элементом анализа сцены является комплексный анализ сцены. Например, выделение дороги, обочины, дорожных знаков и разметки позволяет выделить полосу встречного движения. При заезде под мост анализ разметки (рисунок 2) позволит сохранить правильное направление движения даже в случае, когда другие системы (выделения дороги, обочины, неба) могут дать неверные результаты. Важно иметь логическую систему прослеживания и определения корректности результатов по результатам целой последовательности кадров. В настоящее время такая система разрабатывается. Этой системе будет посвящена отдельная публикация.

5. Заключение

В работе описаны алгоритмы детектирования и распознавания дорожной разметки на основе метода геометризованных гистограмм. Предлагаются примеры работы программной системы, реализующей данные алгоритмы, даются оценки быстродействия системы на видео высокого разрешения. Также в работе описаны алгоритмы решения задач поиска стоп-линий, светофоров и дорожных знаков на основе графа цветовых сгустков *STG*.

6. Благодарности

Эта работа была поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований проекты 18-07-00127 и 19-08-01159.

7. Литература

- [1] Norote, S.P. A review of recent advances in lane detection and departure warning system / S.P. Norote, P.N. Bhujbal, A.S.Norote, D.M. Dhane // Pattern Recognition. – 2018. – Vol. 73(1). – P. 216-234.
- [2] Dosaev, R.V. A new real-time method for finding temporary and permanent road marking and its applications / R.V. Dosaev, K.I. Kiy // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2391. – P. 86-96.
- [3] Kiy, K.I. A new real-time method for description and generalized segmentation of color images / K.I. Kiy // Pattern Recognit. Image Anal. – 2010. – Vol. 20(2). – P. 169-178. DOI: 10.1134/S1054661810020082.
- [4] Kiy, K.I. Segmentation and detection of contrast objects and their application in robot navigation / K.I. Kiy // Pattern Recognit. Image Anal. – 2015. – Vol. 25(2). – P. 338-346. DOI: 10.1134/S1054661815020145.

- [5] Kiy, K.I. A new method of global image analysis and its application in understanding road scenes / K.I. Kiy // Pattern Recognit. Image Anal. – 2018. – Vol. 28(3). – P. 483-494. DOI: 10.1134/S1054661818030100.
- [6] Kiy, K.I. An image understanding system based on the geometrized histograms method: finding the sky in road scenes / K.I. Kiy // CEUR Workshop Proceedings. – 2018. – Vol. 2210. – P. 291-299.
- [7] Kiy, K.I. An image understanding system based on the geometrized histograms method: finding the sky in road scenes / K.I. Kiy // CEUR Workshop Proceedings. – 2018. – Vol. 2210. – P. 291-299.
- [8] Wu, P.Ch. Real-time invariant lane detection for lane departure warning syst / P.Ch. Wu, Ch.U. Chang, Ch.H. Lin // Pattern Recognition. – 2014. – Vol. 47(8). – P. 2756-2767.
- [9] Кий, К.И. Программная система обработки изображений с параллельными вычислениями / К.И. Кий, Д.А. Анохин, А.В. Подоприсветов // Программирование, 2020 (в печати).
- [10] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://project1054516.tilda.ws/>.

Global image analysis: detection and recognition of informative details of road scenes

K.I. Kiy¹, R.V. Dosaev¹

¹Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Miusskaya square 4, Moscow, Russia, 145047

Abstract. In this paper, an application of the facilities of global image analysis, provided by the geometrized histograms method for detecting and recognizing basic informative elements of road scenes, is presented. Applications to detection and recognition of permanent and temporary road markings, stop lines, and indications of getting into a crossroad are addressed. Applications of the method to detection of traffic signs and traffic lights are discussed. The developed methods are compared with other known methods for solving such tasks. Algorithms for solving the addressed problems and the software implementation of the proposed algorithms are described. The results of operation of the developed software system for particular images and video sequences are presented. The problems of development of a complex system for understanding road scenes, including the joint analysis of the road, road sides, other objects on the road, the sky region, road markings, and traffic signs, are discussed.