

Детекторы проездов на основе технического зрения в автоматическом классификаторе транспортных средств

Дмитрий Бочаров^{1,2}, Иван Коптелов¹, Елена Кузнецова¹

¹ Институт проблем передачи информации им. Харкевича РАН

² Московский физико-технический институт (государственный университет)

bocharov.mitry@gmail.com

koptelov@visillect.com

vojageur@gmail.com

Аннотация

В данной работе рассмотрена задача детекции транспортного средства в видеопотоке методами технического зрения. Кратко описан общий метод функционирования детектора и подробно рассмотрена его важная составляющая – корреляционный детектор наличия объекта. Предложена более устойчивая двухпараметрическая модификация корреляционного детектора объекта для устранения его повышенной чувствительности и частых ложноположительных срабатываний. Также, в связи с тем, что детектор проездов демонстрирует низкое качество обнаружения жесткой сцепки между транспортными средствами, предложен метод детектирования сцепок, основанный на поиске преимущественно горизонтальных границ. Результаты тестирования модифицированного детектора проездов демонстрируют улучшения детектирования проездов.

Ключевые слова: **детекторы проездов, транспортных средств, обработка изображений, автоматический классификатор, детекция границ, экспоненциальная фильтрация.**

Работа частично финансово поддержана грантом РФФИ № 13-01-12106.

Введение

Плата за проезд по платным дорогам может зависеть от таких характеристик транспортного средства (ТС), как: длина, высота, количество колесных осей и масса. Для максимизации пропускной способности пункта взимания платы целесообразно измерять характеристики автоматически. На практике оценка массы ТС для его классификации неэффективна. Так как количество осей коррелирует с массой и его оценка может быть осуществлена технически более простыми методами, более распространено использование количества колесных осей ТС как одного из его параметров. Описано множество технических способов оценки данного параметра ТС, в основе

которых лежит использование оптических пар, инфракрасных [1] или магнитных сенсоров [2]. Применение технологий технического зрения в данной задаче универсально, так как позволяет оценить многие параметры ТС и может быть адаптировано под различные условия эксплуатации [3].

Системы анализа дорожного трафика и параметров отдельных ТС, которые основаны на техническом зрении, демонстрируют высокое качество работы при различных погодных условиях и условиях освещения и продолжают стремительно развиваться [4], [5]. Автоматический классификатор ТС (АКТС), разработанный в ИППИ РАН, позволяет классифицировать ТС, используя данные с одной видеокамеры и сигнал индукционной петли [6]. АКТС работает в соответствии с «итальянской» и «французской» таблицами классификации, согласно которым для определения класса необходимо оценить количество колесных осей и, в зависимости от таблицы классификации, либо полную высоту ТС либо наблюдаемую высоту над первой осью.

Запуск ядра распознавания производится только при наличии ТС на изображении. В момент детекции въезда ТС запускаются подсистемы детектирования колес и оценки высоты и завершают работу, соответственно, в момент детектирования выезда. Обработка накопленных данных производится после выезда ТС. Таким образом, детекция наличия и отсутствия объекта в контрольной зоне – одна из важнейших задач АКТС. Любая ошибка детектирования проезда приводит к ошибкам классификации или нарушениям в очереди из ТС: появлениям «фантомных» проездов или их пропускам.

Детектор проездов ТС

Задача детектора проездов заключается в определении интервала времени (отсчетов кадров), внутри которого на изображении в контрольной зоне присутствует ТС.

На вход детектору проездов поступает последовательность изображений с одной видеокамеры со скорректированной радиальной дисторсией и сигнал состояния индукционной петли. Входные изображения являются одноканальными.

В процессе движения по участку дороги ТС пересекает условно заданную контрольную плоскость R , перпендикулярную направлению его движения. Камера расположена на определенной высоте над поверхностью дороги, оптическая ось камеры лежит в контрольной плоскости R . На входных изображениях мы наблюдаем вырожденную ортогональную проекцию R как прямую P (Рисунок 1). Левая граница интервала должна быть детектирована не позже, чем граница образа ТС начнет пересекать прямую P . Правая граница интервала, соответственно, – не позже, чем образ ТС закончит пересекать прямую P .

Также, исходя из эксплуатационных особенностей АКТС, можно сформулировать следующие условия:

- ТС движутся строго последовательно;

- на изображении могут присутствовать ТС с соседних полос;
- допустимо изменение естественного освещения (погодные условия, время суток и года).

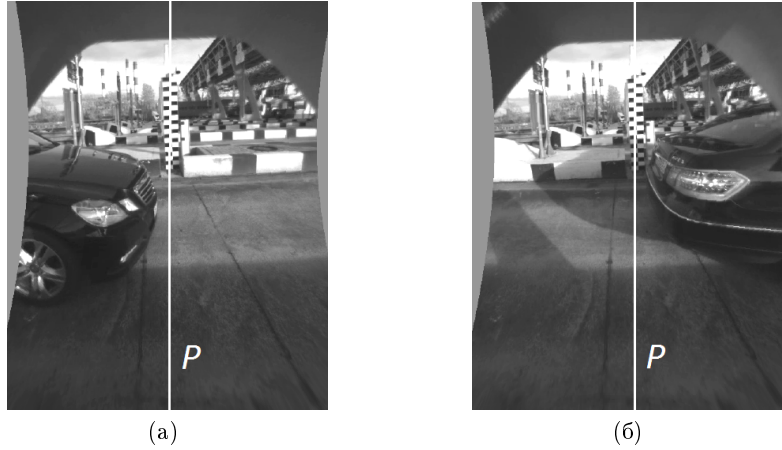


Рис. 1. Транспортное средство пересекает контрольную прямую P . Моменты начала и завершения пересечения соответствуют временному интервалу присутствия объекта.

Детектор проездов ТС использует для определения наличия и отсутствия объекта следующие сигналы:

- детектора существенного изменения изображения (далее – корреляционного детектора) $f_c(t)$;
- щитового детектора объекта $f_h(t)$;
- состояния индукционных петель $f_l(t)$, размещенных на осях классификации под поверхностью дорожного полотна.

$$f_h(t), f_c(t), f_l(t) \in \{0, 1\}. \quad (1)$$

Значение проезда $F_{pass}(t)$ определяется логической комбинацией значений сигналов данных сигналов:

$$F_{pass}(t) = F(f_h^d(t), f_c^d(t), f_l^d(t)), F_{pass} \in \{0, 1\}. \quad (2)$$

Верхний индекс f^d у сигнала детектора означает его дилатированную модификацию: $f^d = \text{dilate}(f)$. Подробное описание данного комбинированного метода приведено в работе [7].

Рассматриваемая проблема

Существенная доля случаев ошибочной классификации ТС ($\sim 20\%$) является следствием ошибок детектирования проездов. Наиболее частыми ошибками детектора являются «разрывы» и «склейки» проездов, соответственно, в местах жестких сцепок и в условиях плотного потока ТС. Наличие сложных условий наблюдения, а именно: контрастного освещения, движения теней, засветок от фар на поверхности дороги от проезжающих ТС также приводит к ложно-положительным срабатываниям детектора объекта. «Разрывом» проезда считается соответствие двух экспериментальных проездов ТС одному референтному. «Склежкой» проезда – соответствие одного экспериментального двум референтным.

«Разрывы» проездов в местах жестких сцепок возникают в связи с тем, что:

- образы сцепок не всегда приводят к существенному изменению изображения внутри контрольной зоны корреляционного детектора объекта;
- образы сцепок либо несущественно перекрывают щит, либо не перекрывают вовсе. Соответственно, сигналу щитового детектора $f_h(t)$ свойственны систематические ошибки ложно-отрицательного рода на местах сцепок;
- индукционным петлям также свойственны ложно-отрицательные срабатывания на сцепках.

Таким образом, «разрывы» проездов в местах жестких сцепок могут быть в значительной мере предотвращены, если решить задачу их детектирования.

«Слейки» проездов возникают из-за ложно-положительных срабатываний корреляционного детектора на засветках от фар на поверхности асфальта и тенях от ТС. Для уменьшения количества подобных ошибок детектор должен быть достаточно чувствителен к объектам и устойчив к теням и засветкам.

Цель и задачи работы

Целью данной работы является повышение качества детекции проездов транспортных средств в АКТС. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Уменьшить количество ошибок «разрывов» проездов в местах жестких сцепок путем их детектирования и интеграции сигнала в детектор проездов.
2. Уменьшить количество ошибок «склеивания» проездов путем модификации корреляционного детектора объекта в сторону большей устойчивости к теням и засветкам от фар.

Предложенные решения

В данном разделе будет рассмотрен корреляционный детектор объекта, более устойчивая двухпараметрическая модификация детектора и метод обнаружения жестких сцепок, основанный на поиске и фильтрации преимущественно горизонтальных границ на изображении.

Корреляционный детектор объекта

Базовый метод В связи с тем, что на исходных изображениях допустимо наличие посторонних движущихся объектов, необходимо определить контрольную область на изображении фиксированного положения и размера (область a , рисунок 5 а), через которую будут «проезжать» только образы ТС, с анализируемой полосы.



Рис. 2. Изображения, получаемые с видеокамеры с размеченными контрольными зонами, в которых анализируются изменения значений интенсивности

Предполагается, что при инициализации, системе какое-то минимально допустимое количество времени (кадров) на вход подаются изображения фона. Считается, что изменение значений интенсивности пикселя фона $B(x, y)$ во времени является квазистационарным процессом. Для каждого момента времени вычисляются значения пикселей изображения фона B_t . Пусть на вход поступают изображения I_t . Предположим также, что изображение I_{t+1} получается преобразованием интенсивностей $g_t : \mathbb{R}_1 \rightarrow \mathbb{R}_1$ изображения I_t . Тогда будем считать, что:

1. Если объекта на изображении нет, то преобразование $g_t(B_t) = I_t$ – линейное;

2. Если в момент времени t на изображении появляется объект, то преобразование $g_t(B_t) = I_t$ – нелинейное.

Модель фона может быть оценена множеством различных методов, в основе многих из которых стоит необходимость хранения истории изображений конечной фиксированной длины h . Интенсивность пикселя фона $B(x, y, t)$ может быть оценена как выборочное среднее или выборочное медианное значение интенсивностей в тех же координатах (x, y) за заданный промежуток времени (3, 4) [8].

$$B(x, y, t) = \frac{1}{h} \sum_{t-h+1}^t I(x, y, t). \quad (3)$$

$$B_t(x, y, t) = \text{Median}_{\tau=(t-h+1, t)} I(x, y, \tau). \quad (4)$$

Более сложные модели адаптированы под условия сложного фона, элементы которого могут изменяться во времени. Самой распространенной моделью для таких случаев является смесь гауссиан (mixture of gaussians – MoG) [9]. В данной модели предполагается, что выборочная плотность вероятности значения каждого пикселя (x, y) может быть оценена смесью из K гауссиан.

В данной работе значения изображения фона вычисляются рекурсивным методом экспоненциального скользящего среднего с темпом обновления α (6) [10].

$$B_0(x, y) = I_0(x, y), \quad (5)$$

$$B_t(x, y) = (1 - \alpha) \cdot B_{t-1}(x, y) + \alpha \cdot I_t(x, y), \quad (6)$$

$B_t(x, y)$, $I_t(x, y)$ – значения интенсивностей пикселя фона и поступившего кадра в момент t в точке (x, y) .

В качестве меры сходства экспоненциально сглаженного во времени фона и текущего кадра вычисляется коэффициент корреляции Пирсона. Каждое из изображений B_t , I_t рассматривается как вектор \mathbf{b}_t , \mathbf{i}_t размерности $[width \cdot height, 1]$, где $width$, $height$ – ширина и высота исходных изображений.

$$r(t) = \frac{\text{cov}(\mathbf{b}_t \mathbf{i}_t)}{\sigma_{\mathbf{b}_t} \sigma_{\mathbf{i}_t}}, \quad (7)$$

Так как $r \in [-1, 1] \in \mathbb{R}$, для удобства производится нормировка значения сенсора:

$$s(t) = 1 - r(t); \quad s \in [0, 2] \in \mathbb{R} \quad (8)$$

Таким образом, детектор в случаях отсутствия объекта имеет значения $\rightarrow 0$. Итоговое значение детектора $f_{image}(t)$ определяется в соответствии с выражением:

$$f_{image}(t) = \begin{cases} 1, & s(t) \geq T_{enter} \\ 0, & s(t) \leq T_{exit} \end{cases} \quad (9)$$

Пороговые значения T_{enter} , T_{exit} определены экспериментально и равны 0.3, 0.2 соответственно. На рисунке 3 приведен пример ошибочного обнаружения корреляционным детектором двух ТС.

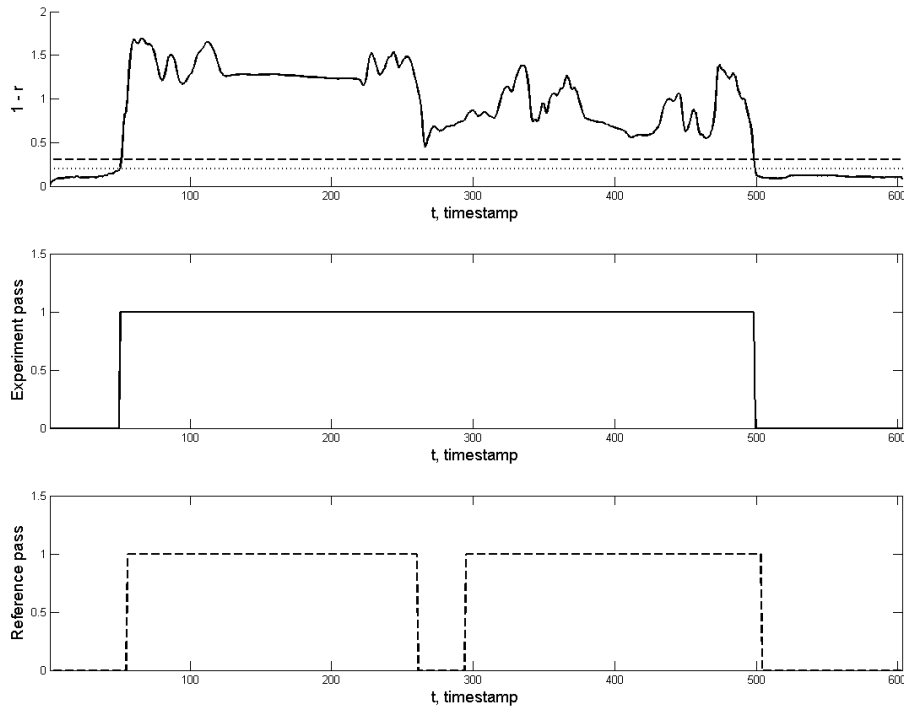


Рис. 3. Иллюстрация ошибки «склейки» двух проездов корреляционным детектором объекта. Верхний рисунок демонстрирует значения $1 - r(t)$, отображенные сплошной линией, значения T_{enter} , T_{exit} соответственно отображены пунктирной линией и точками. На рисунке в середине приведен сигнал детектора f_{image} . На рисунке снизу пунктирной линией отображены истинные значения проездов, размеченных экспертом.

Двухпараметрическая модификация Идея модификации заключается в добавлении второй контролируемой области на изображении (область h , рисунок 5 б) таким образом, что:

- обе области не захватывают соседнюю полосу;

- при проезде ТС будет существенно изменены значения хотя бы одной из областей;
- области h и v не пересекаются (рисунок 5 б).

В данном случае одна из областей v расположена на наблюдаемой плоскости дорожного полотна, вторая область h – на наблюдаемом островке безопасности. Таким образом, независимо от того, насколько близко или далеко от камеры движется ТС, хотя бы одна из областей будет перекрыта.

Для областей h, v независимо оцениваются значения фона b_h, b_v и вычисляются их корреляция с поступившими кадрами. Значения сенсоров есть нормированные значения их коэффициентов корреляций:

$$s_h(t) = 1 - r_h(t); \quad s_h(t) \in [0, 2]; \quad (10)$$

$$s_v(t) = 1 - r_v(t); \quad s_v(t) \in [0, 2]. \quad (11)$$

Отобразим значения сенсоров в момент времени t_0 точкой $(s_h(t_0), s_v(t_0))$ в пространстве \mathbb{R}_2 . Пороговые значения определены прямыми в данном пространстве, функция значений модифицированного детектора $\tilde{f}_{image}(t)$ определяется следующим образом:

$$\tilde{f}_{image}(t) = \begin{cases} 1, & s_v(t) + s_h(t) \geq T_{enter} \\ 0, & s_v(t) + s_h(t) \leq T_{exit} \end{cases} \quad (12)$$

Пороговые значения T_{enter}, T_{exit} определены экспериментально и равны 1.0, 0.8 соответственно. Сравним поведение модифицированного детектора объекта с базовым на рассмотренных двух проездах ТС (рисунок 4).

В итоге, расположение двух контрольных зон выбрано таким образом, что при появлении объекта либо обе области полностью замещаются образом ТС, либо одна замещается частично и вторая полностью. Таким образом, например, при отражениях фар на поверхности асфальта происходит несущественное изменение значений внутри области v (рисунок 5), значения внутри области h практически не изменяются. В данном случае по выбранному правилу (12) решение о наличии объекта будет принято истинно-отрицательное. Также, предложенная модификация демонстрирует устойчивость в условиях плотного потока ТС.

Детекция жестких сцепок

Одним из отличительных признаков жесткой сцепки является ее преимущественно горизонтальная ориентация на плоскости изображения. Следовательно, жесткая сцепка может быть обнаружена по результатам поиска преимущественно горизонтальных границ на изображении. Поиск границ производится внутри фиксированной области интереса на изображении, на которой ожидается наличие сцепки. Для каждого кадра оценивается изображение фона B_t (6), после чего на B_t и текущем изображении I_t осуществляется поиск границ.

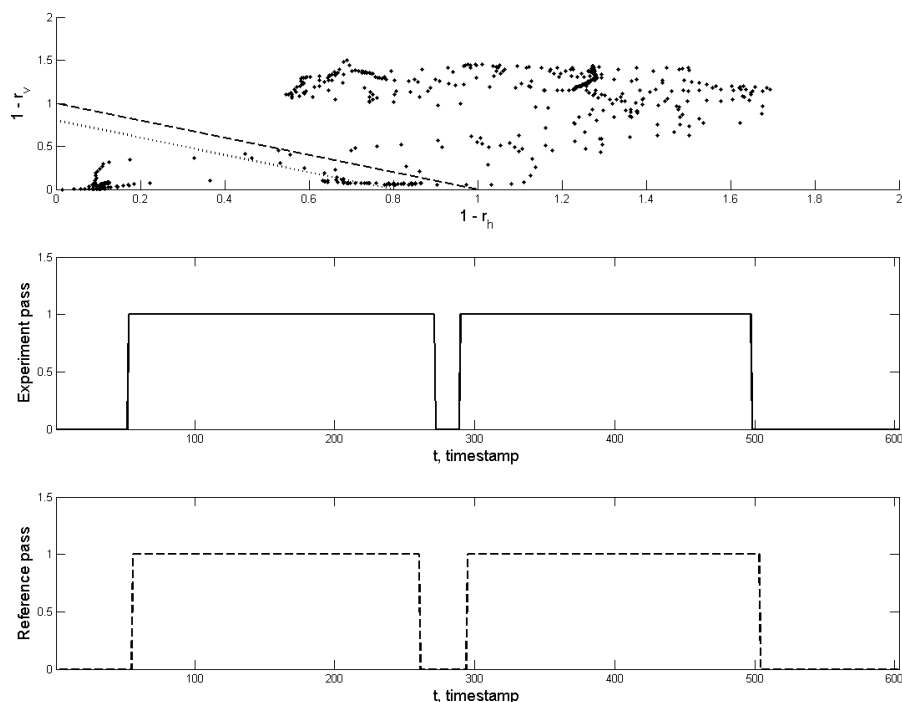


Рис. 4. Иллюстрация верного детектирования двух проездов ТС модифицированным детектором объекта. На верхнем рисунке по осям абсцисс и ординат соответственно отложены величины $1 - r_h(t)$, $1 - r_v(t)$ за интересующий временной интервал. Пунктирной линией и точками соответственно продемонстрированы пороговые значения. На рисунке в середине приведен сигнал детектора f_{image} . На рисунке снизу пунктирной линией отображены истинные значения проездов, размеченных экспертом.

Детекция границ На этапе предобработки на исходном изображении осуществляется сглаживание высоких частот box -фильтром вдоль Oy со структурным элементом 1×3 .

Границы на изображении позволяет обнаружить детектор Канни [11]. Однако, в результате его применения, детектируются и преимущественно горизонтальные и преимущественно вертикальные границы. Учитывая необходимость поиска только преимущественно горизонтальных границ, применение детектора Канни приведет к избыточным вычислениям.

Далее, будет описан предложенный алгоритм поиска преимущественно горизонтальных границ. Точка изображения принадлежит границе, если в ней достигается либо локальный экстремум значений интенсивности, либо локальный экстремум значений производной:

– в точке $I(x, y)$ достигается локальный максимум интенсивности

$$\begin{cases} I(x, y) - I(x, y - 1) \geq \varepsilon \\ I(x, y) - I(x, y + 1) \geq \varepsilon \end{cases} \quad (13)$$

– в точке $I(x, y)$ достигается локальный минимум интенсивности

$$\begin{cases} I(x, y) - I(x, y - 1) \leq \varepsilon \\ I(x, y) - I(x, y + 1) \leq \varepsilon \end{cases} \quad (14)$$

– в точке $I(x, y)$ достигается локальный максимум производной

$$\begin{cases} I(x, y) - I(x, y - 1) \leq \xi \\ I(x, y) - I(x, y + 1) \geq \xi \end{cases} \quad (15)$$

– в точке $I(x, y)$ достигается локальный минимум производной

$$\begin{cases} I(x, y) - I(x, y - 1) \geq \xi \\ I(x, y) - I(x, y + 1) \leq \xi \end{cases} \quad (16)$$

Значения ε, ξ – определяют пороговые значения для локальных экстремумов интенсивности и ее производной. В процессе работы алгоритма также вычисляется длина связных пикселей границ. Если длина связной границы превосходит значение минимальной длины края, то точки добавляются на изображение границ.

Фильтрация статичных границ Если наблюдается квазистационарный фон, то на изображениях $B(t), I(t)$ будут детектированы схожие границы. Также допустим легкий дребзг камеры, в результате которого точка может быть смещена не более чем на n пикселей вдоль Oy относительно своего стационарного положения. В идеальном случае, если объект отсутствует и наблюдаемая сцена не изменилась, детектированные границы на изображении фона и кадра будут совпадать.

Пусть B_e, I_e – бинарные изображения границ фона и текущего изображения в один момент времени. Алгоритм фильтрации можно записать в виде следующей последовательности операций:

1. Применение операции дилатации к изображению фона $B_e^d = D(B_e)$ со структурным элементом w размера 1×3 .
2. Применение операции бинарной разности к изображениям $Dif(I_e, B_e^d) = C$.
3. Поиск компонент связности на изображении C .
4. Фильтрация компонент связности по длине: сохранение границ, длина которых больше порогового значения.

На рисунке 5 приведена иллюстрация работы алгоритма поиска преимущественно горизонтальных границ. На вход детектору поступают текущий кадр (а) и модель фона (в), на каждом изображении осуществляется поиск границ (б, г). Последним этапом выполняется фильтрация неподвижных границ на изображении (б). Сигналом детектора является количество компонент связности на изображении после фильтрации.

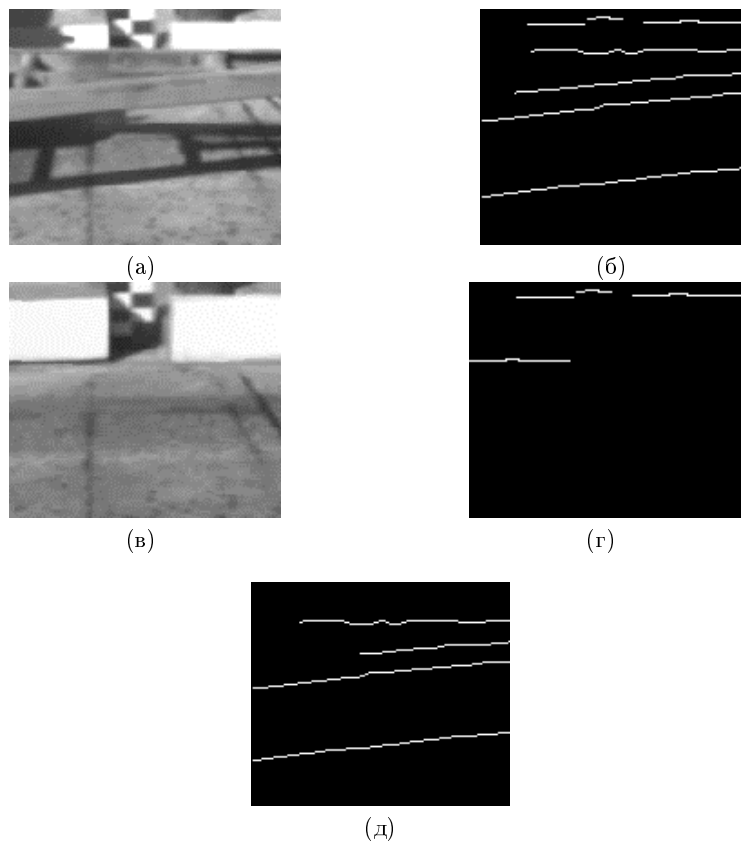


Рис. 5. Примеры детектирования преимущественно горизонтальных границ на образе жесткой сцепки внутри области интереса. На рисунке приведены: текущее изображение (а) и обнаруженные на нем границы (б), модель фона (в) и соответствующие ей границы (г), результат фильтрации статичных границ (д).

Результаты

Модифицированный корреляционный детектор наличия объекта и детектор жестких сцепок встроены в автоматический классификатор транспортных средств. Проведено тестирование системы на двух стендах – для «итальянской» и «французской» таблиц классификации. Объемы стендов составляют ~ 18000 и 8000 проездов ТС соответственно. Осуществлялось сравнение качества детекции проездов и интегрального качества работы системы до модификаций и после. Как видно из таблицы 1, модифицированный корреляционный детектор и предложенный детектор сцепок приводят к существенным улучшениям проездов. Результаты тестирования на «итальянском» и «французском» стендах представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение АКТС базовой версии и версий с предложенными модификациями на «итальянском» и «французском» стендах объемом ~ 18000 и 8000 проездов ТС.

Модификации АКТС	Детекция проездов	Интегральное качество
«Итальянская» таблица классификации		
<i>Версия А</i>	99,36	97,45
<i>Версия В</i>	99,58	97,82
«Французская» таблица классификации		
<i>Версия А</i>	97,71	97,45
<i>Версия В</i>	98,29	97,82

Условные обозначения версий АКТС в таблице 1: *Версия А* – исходная версия АКТС; *Версия В* – АКТС с модифицированным корреляционным детектором объекта и детектором жетских сцепок. Каждая ячейка содержит значения качества в процентах. Основная идея метода оценки качества АКТС изложена в тезисах [12].

Обсуждение результатов и выводы

Предложенные модификации по-разному проявляются на итальянском и французском стендах в связи с различиями в конфигурациях полос. Варьируются высота от камер до плоскости дорожного полотна, расстояние от камер до полос и, как следствие, масштаб наблюдаемых ТС. В связи с этим, на французском стенде не всегда удается обнаружить жесткую сцепку из-за ее малых наблюдаемых размеров в пикселях вследствие меньших масштабов ТС. Модификация корреляционного детектора объекта демонстрирует более высокое качество в сравнении с базовым однопараметрическим методом. Наблюдаются улучшения на проездах, где ложно-положительные срабатывания базового корреляционного детектора приводили к «склеиваниям» проездов.

Литература

- [1] Hemanshu S Khatri and Sunil B Somani. Infrared-based system for vehicle axle counting and classification. In *Pervasive Computing (ICPC), 2015 International Conference on*, pages 1–5. IEEE, 2015.
- [2] Saowaluck Kaewkamnerd, Ronachai Pongthornseri, Jatuporn Chinrungrueng, and Teerapol Silawan. Automatic vehicle classification using wireless magnetic sensor. In *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 2009. IDAACS 2009. IEEE International Workshop on*, pages 420–424. IEEE, 2009.
- [3] A Grigoryev, T Khanipov, and D Nikolaev. Determination of axle count for vehicle recognition and classification. In *8th Open German-Russian Workshop «Pattern Recognition and Image Understanding»: Workshop proceedings.—Nizhny Novgorod*, pages 89–91, 2011.
- [4] Jun Yee Ng and Yong Haur Tay. Image-based vehicle classification system. *arXiv preprint arXiv:1204.2114*, 2012.
- [5] Naveen Chintalacheruvu, Venkatesan Muthukumar, et al. Video based vehicle detection and its application in intelligent transportation systems. *Journal of transportation technologies*, 2(04):305, 2012.
- [6] Timur Khanipov, Ivan Koptelov, Anton Grigoryev, Elena Kuznetsova, and Dmitry Nikolaev. Vision-based industrial automatic vehicle classifier. In *Seventh International Conference on Machine Vision (ICMV 2014)*, pages 944511–944511. International Society for Optics and Photonics, 2015.
- [7] D. Bocharov, D. Sidorchuk, I. Konovalenko, and I. Koptelov. Vehicle passes detector based on multi-sensor analysis. *SPIE, Seventh International Conference on Machine Vision (ICMV)*, 9445, 2015. URL <http://dx.doi.org/10.1117/12.2181378>.
- [8] S Cheung Sen-Ching and Chandrika Kamath. Robust techniques for background subtraction in urban traffic video. In *Electronic Imaging 2004*, pages 881–892. International Society for Optics and Photonics, 2004.
- [9] Chris Stauffer and W Eric L Grimson. Adaptive background mixture models for real-time tracking. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1999. IEEE Computer Society Conference on.*, volume 2. IEEE, 1999.
- [10] James W Taylor. Smooth transition exponential smoothing. *Journal of Forecasting*, 23(6):385–404, 2004.
- [11] John Canny. A computational approach to edge detection. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, (6):679–698, 1986.
- [12] Малюгина О. В. Оценка качества систем автоматической классификации транспортных средств в неконтролируемых условиях. Number 57, pages 40–42, 2014.