

УДК 004.932.2

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ

Ершов М.Д., ассистент кафедры автоматизируемых информационных технологий в управлении Рязанского государственного радиотехнического университета, e-mail: aitu@rsreu.ru;

Шубин Н.Ю., к.т.н., доцент кафедры автоматизируемых информационных технологий в управлении Рязанского государственного радиотехнического университета, e-mail: aitu@rsreu.ru.

IMAGE PROCESSING ALGORITHMS FOR ROAD SITUATION ANALYSIS

Ershov M.D., Shubin N.Yu.

This paper describes road situation analysis problems for traffic flow management and ensuring safety. The following image processing algorithms are proposed: road marking detection algorithm, vehicle detection and counting algorithm, stopped vehicle detection algorithm. Algorithms are designed to process images obtained from a stationary camera. The developed algorithms were implemented and tested also on the embedded platform of smart cameras. Results of experimental research of proposed algorithms are presented.

Key words: video analysis, embedded systems, image processing, object detection, background subtraction, Radon transform, multi-agent systems.

Ключевые слова: видеоаналитика, встроенные системы, обработка изображений, обнаружение объектов, оценка фона, преобразование Радона, многоагентные системы.

Введение

Появление и актуализация различных задач в области транспортной аналитики связаны с постоянно растущим числом автотранспорта на дорогах, что приводит к значительному увеличению экономических и социальных издержек. Недостаточная безопасность движения и пробки на дорогах являются прогрессирующей проблемой в городах по всему миру, и органы власти стараются свести к минимуму транспортные проблемы с помощью различных способов управления дорожным движением. Решение обозначенных проблем в условиях растущей нагрузки на транспортную инфраструктуру требует больших трудозатрат.

Одним из возможных подходов является использование адаптивной системы управления работой светофоров на улицах города. Системы управления движением не только снижают задержки и заторы, но и решают другие проблемы:

- обнаружение происшествий;
- контроль соблюдения и фиксация нарушений ПДД;
- накопление статистической информации о транспортных потоках.

Таким образом, в настоящее время для эффективного управления дорожным движением и обеспечения безопасности всех его участников необходимо наблюдать за дорожно-транспортной обстановкой, оценивать параметры транспортных потоков, немедленно обнаруживать опасные ситуации и информировать об этом соответствующие службы. Для решения задачи анализа транспортных потоков наиболее популярными стано-

Рассматриваются задачи анализа дорожной обстановки для управления транспортными потоками и обеспечения безопасности. Предложены следующие алгоритмы обработки изображений: алгоритм обнаружения разметки, алгоритм обнаружения и подсчета автомобилей, алгоритм обнаружения остановившихся автомобилей. Алгоритмы рассчитаны на обработку изображений, получаемых стационарной камерой. Разработанные алгоритмы были реализованы и апробированы, в том числе на базе интеллектуальных камер. Представлены результаты экспериментальных исследований предложенных алгоритмов.

вятся видеодетекторы транспортных средств [1]. Они обладают следующими преимуществами:

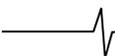
- обнаружение транспортных средств одним датчиком по нескольким полосам;
- сбор большого числа разнообразных данных о транспортном потоке;
- возможность визуального наблюдения за транспортными средствами.

Если источником информации является видеочкамера, то можно выделить два варианта реализации алгоритмов обработки данных:

На внутренней платформе камер видеонаблюдения – онлайн обработка (уменьшение количества передаваемых данных и, следовательно, сокращение требований к каналам связи и вычислительному серверу) [2].

На центральном вычислительном сервере – офлайн обработка (значительное сокращение требований к техническим характеристикам камер видеонаблюдения) [3].

Данная работа посвящена решению таких задач системы контроля дорожного движения, как обнаружение и подсчет проезжающих автомобилей, а также обнаружение остановившихся автомобилей. Кроме того, предложен алгоритм обнаружения разметки. Решение указанных задач рассматривается для неподвижной камеры, установленной над дорогой.



При разработке алгоритмов учитывалась необходимость их применения на встраиваемой платформе интеллектуальных камер видеонаблюдения. При этом уменьшается количество данных, передаваемых в систему контроля дорожного движения, однако надо помнить, что вычислительные возможности таких камер ограничены, а при обработке изображений требуются вычислительные ресурсы для учета наличия многих факторов:

- изменения освещенности сцены, вызванные тенями от облаков, деревьев, зданий;
- движущиеся тени и блики, вызванные различными положениями солнца;
- включенные фары автомобилей, блики на асфальте от фонарей уличного освещения;
- погодные условия (дождь, снег);
- различные ракурсы съемки у разных видеокамер;
- различная конфигурация наблюдаемых перекрестков и участков дорог.

Алгоритм обнаружения разметки

Для эффективной работы алгоритма обнаружения и подсчета автомобилей требуется предварительное задание зоны интереса для каждой полосы движения. С целью автоматизации этого процесса предлагается выполнять поиск разметки на наблюдаемом участке дороги.

Одним из эффективных способов обнаружения прямых линий на изображении является использование интегрального векторного преобразования Радона (ИВПР) [4], однако его применение в данной задаче ограничено следующими факторами:

- ИВПР способно обнаружить только прямые, вдоль которых лежат линии, но не концы их отрезков;
- ИВПР не способно обнаруживать кривые линии разметки;
- дисторсии, присущие некоторым видеокамерам, способны значительно искривить даже изначально прямые линии разметки.

Для преодоления перечисленных ограничений в рамках данной работы предлагается разбивать исходное изображение на небольшие фрагменты (блоки), в пределах которых кривизной линий и неточностью определения концов их отрезков можно пренебречь. Обнаруженные с помощью ИВПР линии в каждом из блоков необходимо объединить в длинные кривые или прямые линии, принимаемые за линии разметки. Для этого используется многоагентный подход [5]: каждому найденному отрезку ставится в соответствие активный агент, стремящийся к соединению с другими агентами-соседями [6]. В результате нескольких итераций взаимодействия агентов образуется устойчивая сеть потребностей-возможностей (ПВ-сеть). Её структура содержит обнаруженные линии.

Полученные, в результате работы алгоритма обнаружения разметки, предварительные оценки дорожной разметки передаются эксперту для редактирования.

Алгоритм обнаружения и подсчета автомобилей

Одной из перспективных задач является определение плотности автомобильного потока на автотрассах,

перекрестках и улицах города с целью рационального управления транспортной инфраструктурой. Системы транспортной аналитики могут использоваться как для решения задач в режиме реального времени (для адаптивного управления движением), так и для накопления статистической информации о транспортных потоках. Обработка и анализ статистической информации позволяет предложить эффективные меры для увеличения пассажиро- и грузопотока и безопасности движения: установка светофоров и регулировка их работы, изменение конфигурации перекрестка, введение дополнительных полос движения, в том числе полос для общественного транспорта, и другие.

Разработанный алгоритм обнаружения и подсчета проезжающих автомобилей предполагает задание зоны интереса на изображении – сенсора. На каждую полосу движения устанавливается свой сенсор (пример представлен в разделе «Экспериментальные исследования»). Каждый сенсор делится на две зоны (как правило, зона въезда и зона выезда), что позволяет определять направление движения проехавшего автомобиля, а также оценивать скорость движения, если были заданы размеры зон в метрах. Увеличение счетчика проехавших по полосе движения автомобилей выполняется в случае, если сенсор фиксирует следующую последовательность событий: объект обнаружен в зоне въезда, объект обнаружен в зоне выезда, объект покинул зону въезда.

Работа алгоритма начинается с оценки фона [7-9] в каждой зоне. На данной стадии важно выделить кадры, на которых отсутствует движение, для чего оценивается число «движущихся» точек на каждом кадре:

- Вычисление разности текущего и предыдущего кадра.
- Определение числа «движущихся» точек путем пороговой обработки.

Если число «движущихся» точек больше порога, зависящего от разрешения изображения, то считается, что в зоне обнаружено движение. Иначе – движения нет.

Если в течение заданного малого промежутка времени в зоне движения нет, то выбирается опорный кадр для оценки фона. Кроме того, работа зон синхронизируется с целью определения момента времени, когда автомобиль покинул зону въезда, а затем покинул зону выезда. Такая проверка необходима для исключения выбора опорного кадра во время остановки автомобиля в зоне. После нахождения опорного кадра на протяжении заданного интервала времени (как правило, несколько секунд) осуществляется проверка стабильности фона, для чего уже выполняется анализ разности опорного и текущего кадра.

Как только стадия оценки фона завершается, зона переходит в режим нормальной работы, который содержит следующие основные шаги:

1. Вычисление разности текущего кадра и фона.
2. Пороговая обработка для определения числа точек, принадлежащих к разным категориям: объект, фон, тень, засветка.

Соответственно, задаются отдельные пороги для определения точек, принадлежащих тени или засветке. Фильтрация таких точек необходима для исключения ложных обнаружений. Если же достаточно большую

площадь зоны занимают точки, отнесенные к объекту, то зона переходит в состояние «автомобиль обнаружен». Окончательное решение об обнаружении автомобиля принимается на уровне сенсора, как было описано выше.

Алгоритм обнаружения остановившихся автомобилей

Остановившееся на дороге транспортное средство может являться помехой для движения и представлять собой серьезную угрозу, в этом случае своевременное обнаружение такой ситуации позволит предупредить других участников движения и вовремя оповестить экстренные службы. Алгоритм обнаружения остановившихся автомобилей применяется ко всему изображению и основан на использовании оценки фона [7-9]. Работу алгоритма можно разделить на стадию инициализации и стадию обнаружения объектов.

Стадия инициализации заключается в первоначальной оценке фона. Для решения этой задачи применяется усредняющий фильтр: в каждом пикселе изображения определяется среднее значение яркости для заданного числа кадров [10]. Таким образом, первоначальная оценка фона осуществляется путем накопления информации о яркости пикселей в течение достаточно большого промежутка времени.

При разработке алгоритма обнаружения на основе оценки фона одной из задач является обновление этой оценки. В предлагаемом алгоритме для решения этой задачи используется экспоненциальный фильтр [11], при этом создается очередь оценок фона для разных малых промежутков времени. Имея оценку фона, обнаружение объектов можно осуществлять путем анализа модуля разности текущего изображения и фона. Нами был использован подход на основе вычитания самой ранней оценки фона из текущей оценки фона.

Таким образом, стадия обнаружения объектов включает следующие шаги:

1. Получение матрицы B_D путем бинаризации разностного изображения $D = |BG_N - BG_0|$.
2. Обработка бинарного изображения B_D .
3. Накопление информации в матрице S о продолжительности отнесения каждого пикселя к объекту.
4. Получение матрицы B_S путем бинаризации матрицы S , разметка и параметризация объектов.
5. Обновление оценок фона.

D представляет собой модуль разности текущей оценки фона BG_N и оценки фона BG_0 для самого раннего промежутка времени. Бинаризация D осуществляется путем пороговой обработки.

Следующим этапом является постобработка бинарного изображения B_D с целью связывания малых сегментов. Для этого применяются морфологические операции «открытия» и «закрытия». Также возможно использование заранее заданной маски для обнуления в матрице B_D значений пикселей на участках, не принадлежащих дорожному полотну.

Для учета временного порога обнаружения создается матрица S , хранящая для каждого пикселя число

кадров, в которых пиксель был классифицирован как принадлежащий остановившемуся объекту. Обновление матрицы S выполняется на каждом кадре на основе информации, содержащейся в бинарном изображении B_D .

Бинарное изображение B_S является результатом пороговой обработки матрицы S . Порог выставляется соответственно требуемому времени обнаружения. Наконец, выполняется процедура разметки и параметризации выделенных объектов с использованием матрицы B_S . Данная процедура обеспечивает присвоение каждому объекту уникального номера и вычисление таких параметров, как координаты и площадь. Объекты слишком малого размера отбрасываются.

Для обновления текущей оценки фона BG_N на вход экспоненциального фильтра подается текущее изображение I_N . В результате BG_N будет накапливать информацию об остановившихся объектах.

Обновление ранних оценок фона $BG_i (i = 0..N-1)$ осуществляется на основе маски. В качестве маски выступает бинарное изображение B_D . Для пикселей, принадлежащих объектам, значение яркости усредняется по всем оценкам фона $BG_i (i = 0..N-1)$. Через заданный малый промежуток времени очередь оценок фона сдвигается, самая ранняя оценка отбрасывается ($BG_0 = BG_1, \dots, BG_{N-1} = BG_N$).

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования разработанных алгоритмов и программного обеспечения проводились как с использованием ранее записанных натуральных видеосюжетов, так и на внутренней платформе видеокamera при наблюдении за разными участками дорог в режиме реального времени. Съемки выполнялись при разных погодных условиях и в разное время суток. Длина видеопоследовательностей составляет от 10 минут до 8 часов. Размер обрабатываемых изображений от 360×288 до 1280×720 пикселей. Работа алгоритмов проверялась на таких сетевых камерах, как AXIS P1354 и P1365, а также на видеокодерах AXIS Q7424-R.

Исследования алгоритма обнаружения разметки проводились на кадрах, взятых из 11 видеосюжетов, содержание которых отличается как местом, так и условиями наблюдения (включая погодные).

На рис. 1 приведены примеры работы алгоритма обнаружения разметки. В табл. 1 представлены результаты экспериментальных исследований.

Таким образом, средняя эффективность обнаружения линий разметки составляет около 79 %.

На рис. 2 представлены примеры работы алгоритма обнаружения и подсчета автомобилей: изображения получены с разных камер при наблюдении за участками дорог с 3 и 5 полосами движения соответственно.

На рис. 3 представлены примеры работы алгоритма обнаружения остановившихся автомобилей. Во-первых, в солнечный день (продолжительность остановки – более 1 минуты), на протяжении данной видеопоследовательности изменялись условия освещения из-за присутствия облаков. Во-вторых, в ночное время при освещении фонарей (продолжительность остановки – более 10 секунд).



Рис. 1. Примеры автоматического обнаружения разметки

Таблица 1. Результаты исследований алгоритма обнаружения линий разметки

№ сюжета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Число верных обнаружений	3	5	6	5	6	5	4	5	7	4	4
Число пропусков	2	0	2	1	0	2	0	1	5	2	2

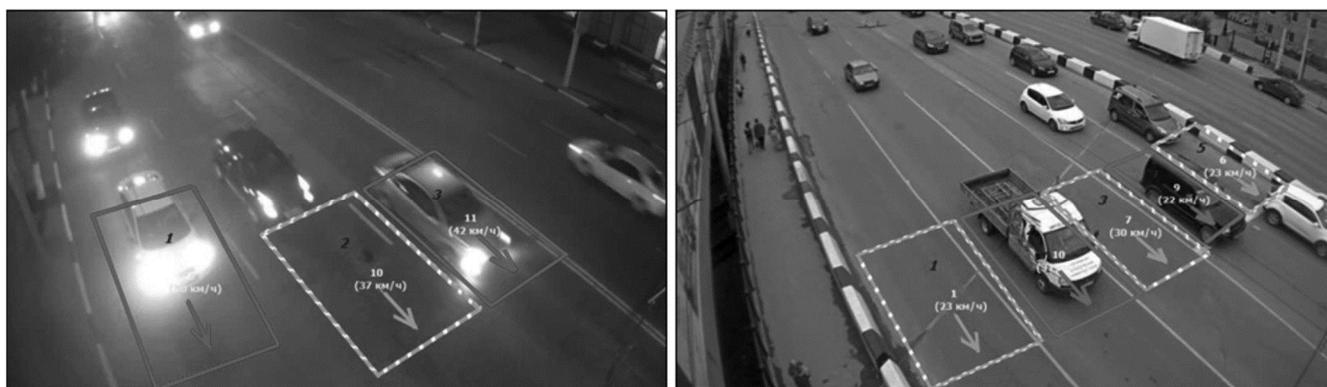


Рис. 2. Примеры обнаружения и подсчета автомобилей



Рис. 3. Примеры обнаружения остановившихся автомобилей

В табл. 2 представлены обобщенные результаты экспериментальных исследований алгоритмов обнаружения автомобилей (ОА) и обнаружения остановившихся автомобилей (ООА). Используются следующие обозначения характеристик эффективности работы:

1. P_o – доля верно обнаруженных объектов.
2. P_I – доля ошибок первого рода (ложное обнаружение).
3. P_{II} – доля ошибок второго рода (пропуск объекта).

Таблица 2. Результаты исследований алгоритмов обнаружения автомобилей

Алгоритм	Характеристики		
	P_o , %	P_I , %	P_{II} , %
ОА	97	2	3
ООА	100	7,5	0

Заключение

В данной работе рассмотрены актуальные задачи анализа дорожной обстановки. Были представлены алгоритмы обработки видеопоследовательностей, получаемых оптическим датчиком при наблюдении за перекрестком или иным участком дороги. Данные алгоритмы позволяют выполнять поиск разметки, обнаруживать проезжающие по полосам движения автомобили, оценивать некоторые параметры транспортных потоков, обнаруживать и локализовать остановившиеся транспортные средства. Предложенные алгоритмы также реализованы и апробированы на базе интеллектуальных камер.

Эффективность алгоритмов и разработанного программного обеспечения экспериментально подтверждена. После анализа результатов исследований мы можем

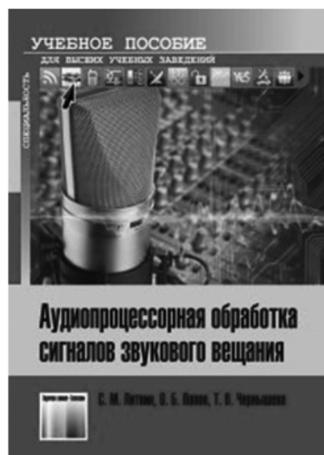
заклЮчить, что представленный программный комплекс позволяет решать поставленные задачи в режиме реального времени при различных условиях наблюдения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских учёных МК-5331.2016.9.

Литература

1. Al-Smadi M., Abdulrahim K., Salam R.A. Traffic Surveillance: A Review of Vision Based Vehicle Detection, Recognition and Tracking // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Vol. 11 (1). – P. 713-726.
2. Alpatov B., Babayan P., Ershov M., Strotov V. The implementation of contour-based object orientation estimation algorithm in FPGA-based on-board vision system // Proc. SPIE, High-Performance Computing in Geoscience and Remote Sensing VI. – SPIE, 2016. – Vol. 10007. – 8 p.
3. Ершов М.Д. Применение алгоритмов обработки изображений для оценки параметров транспортных потоков // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXI Всеросс. науч.-техн. конф. – Рязань: РГРТУ, 2016. – С. 259-261.
4. Babayan P., Shubin N. Line detection in a noisy environment with weighted Radon transform // Proc. SPIE 9024, Image Processing: Machine Vision Applications VII, 902409. – 2014. – 6 p.
5. Vittikh V.A., Skobelev P.O. The multi-agent models of interaction in demand-resource networks // Automatica and Telemechanica 1. – 2003. – P. 177-185.
6. Babayan P., Shubin N. Detection of curved lines and estimation of their parameters on images // 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Bar. – 2017. – P. 1-4.
7. Алпатов Б.А. Оптимальное оценивание параметров движущегося объекта в последовательности изображений // Автометрия. – 1994. – № 2. – С. 32-37.
8. Алпатов Б.А., Бабаян П.В. Разработка алгоритма слежения за фоновым изображением для видеокomпьютерной системы обнаружения и определения координат движущихся объектов // Проблемы математического моделирования и обработки информации в научных исследованиях: Сборник научных трудов. – Рязань: РГРТА, 2003. – С. 3-15.
9. Benezeth Y., Emile B., Laurent H., Rosenberger C. Review and evaluation of commonly-implemented background subtraction algorithms // International Conference on Pattern Recognition. – 2008. – 4 p.
10. Piccardi M. Background subtraction techniques: a review // Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. – 2004. – P. 3099-3104.
11. Heikkila J., Silven O. A real-time system for monitoring of cyclists and pedestrians // 2nd IEEE Workshop on Visual Surveillance. – 1999. – P. 74-81.

НОВЫЕ КНИГИ



Литвин С.М., Попов О.Б., Чернышева Т.В. *Аудиопроекторная обработка сигналов звукового вещания* – М.: Изд-во «Горячая линия-Телеком», 2017 г. – 222 с.: ил.

Звуковой сигнал, передаваемый по каналам звукового вещания, был и будет востребован в общем ряду с большим количеством альтернативных источников информации. Рассмотрены основные характеристики сигналов и каналов звукового вещания, базовые процедуры, используемые при обработке звукового вещательного сигнала (ЗВС); основные алгоритмы обработки сигнала в канале передачи. Проведен анализ и оценка искажений сигнала на всех этапах его передачи – от первичного цифрового преобразования до аудиопроекторной обработки. Особое внимание уделено алгоритмам обработки и проблеме объективной оценки качества ЗВС в системах, не нормируемых в рамках современного метрологического обеспечения.

Для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров 11.03.02 и 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 11.03.01 и 11.04.01 – «Радиотехника», 10.05.02 – «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Горшков Ю.Г. *Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов*. – М.: Изд-во «Радиотехника», 2017 г. – 240 с.: ил.

Изложены новые перспективные методы речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов, аппаратно-программные средства для решения прикладных задач криминалистического исследования фонограмм, оценки эмоционального состояния человека, шумочистки и засекречивания речи, а также построения биомедицинских систем диагностики заболеваний сердца и легких. Основное внимание уделено разработке вейвлет-технологий высокоточного анализа речевых и акустических биомедицинских сигналов. Впервые предложены решения многоуровневого вейвлет-преобразования, обеспечивающие визуализацию нестационарных сигналов с повышенным частотно-временным разрешением. Представлена система телемедицины нового поколения с засекречиванием акустических биомедицинских сигналов.

Для ученых и инженеров, работающих над созданием средств обработки биомедицинских сигналов на новых принципах. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам технических вузов.

