

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ВИДЕОСИСТЕМА КОНТРОЛЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПРОЕЗДА АВТОТРАНСПОРТА

А. А. Городнов, И. А. Елисеев, И. В. Жуков, М. Р. Мочалов, С. В. Сорокин, В. Н. Мурин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Нижегородской обл.

Введение

В настоящее время в России и в мире всё больший размах приобретают разработки устройств с встроенной видеоаналитикой (этот термин широко используется в специальной литературе для обозначения возможности устройств производить встроенный анализ формируемых в них видеоданных). Можно смело прогнозировать в ближайшие годы бурный рост применения таких технических средств и сопутствующие этому росту революционные изменения в идеологии и структуре систем наблюдения и технического зрения. Тот факт, что ВНИИЭФ оказался в числе лидеров в такой современной области развития информационных технологий, как встраиваемая видеоаналитика, заслуживает внимания, а также заботы о сохранении и развитии достигнутого уровня. Лидерский статус получен благодаря разработке интеллектуального визуального датчика (ИВД), выполненной сотрудниками ИЯРФ в рамках проекта МНТЦ № 3195.

ИВД (рис. 1) представляет собой компактное устройство [1], которое содержит видеосенсор и микропроцессор с загружаемым программным обеспечением (ПО). ИВД предназначен для обнаружения событий, таких, например, как появление человека или автомобиля в поле зрения камеры, обнаружение дыма, тумана, пара или огня, слежение за автомобилями и т. д. Функция ИВД определяется перезагружаемым ПО.

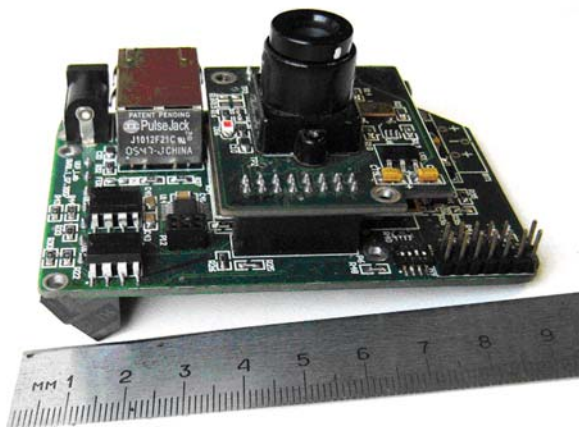


Рис. 1. ИВД без корпуса

Цель работы – создать алгоритмы и программную реализацию технологии автоматического визуального контроля проезда автотранспорта на базе встроенного в него микропроцессора.

1. Постановка задачи

Задача – силами ИВД осуществить независимый автоматический контроль проезда автотранспорта. Примером подобной установки ИВД может быть въезд на склад, подземную парковку или любую другую охраняемую территорию.

ИВД должен выполнить следующие функции:

- круглосуточно наблюдать за въездом/выездом, при этом уметь четко отделять одно от другого;
- обнаруживать факт въезда/выезда каждого отдельного транспортного средства;
- сохранять один стоп-кадр каждого события (въезд/выезд) на удаленном ПК средствами локальной компьютерной сети;
- сопровождать каждый сохраняемый кадр информацией о времени события;
- обеспечивать регистрацию изображений в ракурсе, пригодном для опознавания транспортного средства, и, по возможности, визуального анализа наличия груза.

Постановка задачи выдвигает следующие критические требования к технологии:

- технология должна работать в автоматическом режиме (не требовать сопровождения своей работы оператором в течение любого времени сбора и накопления данных);
- технология должна работать в режиме реального времени;
- технология должна работать в круглосуточном режиме и круглогодичном режиме, без необходимости ручной перенастройки.

2. Разработка алгоритма и его программная реализация

Многие алгоритмы обнаружения объекта в кадре обычно основаны на использовании опорной сце-

ны. Опорная сцена, в которой объект заведомо отсутствует, запоминается и затем используется для сравнения с текущим кадром. Анализируя их различие, можно сделать вывод о присутствии объекта.

Такой подход подразумевает неизменность опорной сцены и приемлем, например, внутри помещений со стабильным освещением. При наружном применении стабильности освещения нет – сумерки, заход солнца за тучу и т. п.

В процессе анализа тестовых видеороликов выяснилось, что в поле зрения, кроме автомобилей, могут двигаться различные другие объекты: люди (охранник, шофер), собаки, птицы, тени, отражения в лужах, круги от капель дождя на лужах и т. д. Особый случай представляет опавшая листва, которую порыв ветра двигает как большую единую массу.

Исходя из анализа подобных ситуаций, был сделан вывод, что алгоритмы на основе опорной сцены в данном случае неприменимы. Следовательно, требовалось разработать совершенно новый алгоритм, который бы не зависел от освещенности сцены и от резких изменений освещенности – таких как «включено искусственное освещение», «сцена осветилась фарами въезжающего автомобиля».

3. Логика принятия решения

Основная задача алгоритма, который требовалось разработать, – определить момент, когда машина присутствует в кадре с оптимальным ракурсом, и именно в этот момент дать команду на фотографирование. Дополнительные задачи: не делать повторные фото для той же машины, минимизировать ложные срабатывания.

4. Измерение вектора движения

4.1. Алгоритм многозонального трекинга

Для нахождения вектора движения был разработан специальный алгоритм. Суть его в следующем. В кадре расставляются зоны, полутоновые образы которых запоминаются. В следующем кадре для каждого образа организуется область поиска и путем сканирования внутри этой области ищется местоположение, в котором образ максимально похож на заданный. Размер области поиска выбирается равным максимально возможному смещению автомобиля между кадрами (это зависит от максимальной скорости движения автомобиля, частоты кадров и размерности изображения). Затем определяется вектор смещения для каждого образа поиска и по всем локальным векторам вычисляется общий (усредненный) вектор смещения.

4.2. Предварительная обработка изображения

С целью экономии вычислительных ресурсов ИВД была исследована возможность работы с редуцированным изображением: в 4 раза по горизонтали и в 4 раза по вертикали. Дальнейшее тестирование показало, что алгоритм вполне устойчиво работает и с редуцированным изображением (рис. 2,б).

Для успешного поиска заданного образа важно выбирать те места, где есть значительные неоднородности по яркости. Для автомобиля это фары, номерной знак, радиатор и т. п.

С целью выделения мест с такими неоднородностями изображение предварительно подвергалось высокочастотной фильтрации. Выбор был остановлен на фильтре Собеля. Поскольку фильтр Собеля зависит от направления, аналогично пространственному дифференцированию, он был модифицирован так, чтобы свертка осуществлялась за один проход по матрице изображения.

Дальнейшие этапы подготовки изображения к выбору зон трекинга следующие. Результат такой фильтрации дискриминируется по некоторому порогу (рис. 2,г). Этим фактически достигается независимость от освещенности сцены. Значение порога, как было выяснено экспериментально, может варьироваться в достаточно больших пределах – от 20 до 120 в терминах байта (0 – 255), результат практически одинаков.

Далее из текущего кадра производится попиксельное вычитание предыдущего кадра (оба преобразованы фильтром Собеля), причем если результат меньше нуля, то он приравнивается к нулю (рис. 2,а). Этой операцией отсекаются все неподвижные части изображения.

Затем изображение подвергается медианной фильтрации с окном 3×3 пикселя, что позволяет убрать шум (рис. 3,б).

После всех этих предварительных операций изображение готово для назначения зон трекинга.

4.3. Назначение зон трекинга

В качестве областей изображения для отслеживания движения объекта нужно выбирать такие, где наблюдаются значительные перепады интенсивности. После предварительной обработки мы имеем изображение с черными (значение байта равно нулю) и белыми (значение байта равно 255) областями, причем белые области как раз и соответствуют нужным требованиям.

Выбор зон производится следующим образом. Сначала все изображение делится на регулярные зоны, примерно 15×10 зон. Зоны, где все пиксели имеют нулевое значение, отбрасываются. Для ненулевых зон производятся следующие операции:



а



б



в



г

Рис. 2. Предварительная обработка кадра: а – исходный кадр; б – 4×4 – редуцированный кадр; в – после обработки модифицированным фильтром Собеля; г – бинаризованный кадр



а



б



в



г

Рис. 3. Предварительная обработка кадра (продолжение), назначение зон и трекинг: а – вычтен предыдущий кадр; б – после специализированной медианной фильтрации; в – расположение зон трекинга; г – локальные векторы смещения после трекинга зон

- определяются координаты центра тяжести;
- центр зоны переносится в точку центра тяжести (рис. 4);
- вычисляется дисперсия по X и Y

$$\delta_x = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{x,y} (x - x_{wc})^2 P_{x,y}}, \quad (1)$$

$$\delta_y = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{x,y} (y - y_{wc})^2 P_{x,y}}, \quad (2)$$

где S – площадь суммирования, $P_{x,y}$ – значение пикселя;

- если дисперсия по какому-то измерению мала, тогда ее значение приравнивается минимальному (при размере кадра 188×120 минимальное значение равно 6);
- размер зоны по X и Y выставляется равным значению дисперсии.

После этого образ фрагмента полутонового изображения, соответствующий данной зоне, запоминается для его поиска на следующем кадре.

Пример назначенных зон трекинга приведен на рис. 4,в.

4.4. Алгоритм поиска заданного образа

Пусть задан образ для поиска в виде прямоугольного фрагмента полутонового изображения. Требуется на другом изображении найти место, на которое заданный образ для поиска максимально похож. Для этого нужно ввести меру «похожести» M . В качестве такой меры обычно принимают норму вида:

$$M = \sum_{x,y} |P1_{x,y} - P2_{x,y}|, \quad (3)$$

где $P1$ и $P2$ – значение пикселя в одном и другом изображениях.

Для поиска нового положения образа следует просканировать район поиска на изображении и найти то место, где норма минимальна.

4.5. Вычисление параметров вектора движения

После трекинга всех зон и вычисления вектора смещения для каждой из них вычисляется средний по всем зонам трекинга вектор движения. Затем вычисляется его проекция на главное направление движения – примерно 40° к оси X при данном ракурсе установки видеодатчика (рис. 5).

При анализе состояния сцены будет учитываться как знак этой проекции, так и ее амплитуда.

5. Измерение дополнительных параметров

Одного вектора движения недостаточно для идентификации автомобиля, так как в том же направлении может двигаться, например, охранник. Поэтому измеряются еще площадь изменений S , координаты центра тяжести изменений, а также дисперсия по X и по Y [2].

Площадь изменений вычисляется простым взвешиванием кадра после всех фильтраций (рис. 4,б), с учетом перспективы (рис. 5).

Дисперсия изменений вычисляется по формулам (1), но по всему кадру.

Все измеренные параметры подвергаются усреднению по времени. Это необходимо, чтобы сгладить «дребезг». Для вектора движения, в случае хаотического изменения его направления, усреднение даст малую величину, в противном случае отразит стабильность его направления. Параметры записываются в кольцевой буфер (для каждого параметра свой буфер), длина которого равна времени усреднения в терминах числа кадров, и в каждый момент времени величина параметра принимается равной среднему значению по всему буферу.

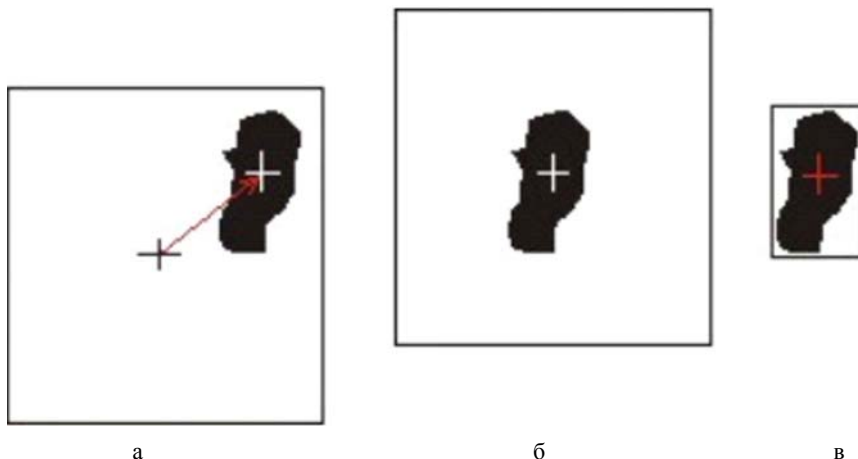


Рис. 4. Назначение зон трекинга: а – регулярная зона; б – перенос центра зоны в точку центра тяжести; в – изменение размера в соответствии со значениями дисперсии

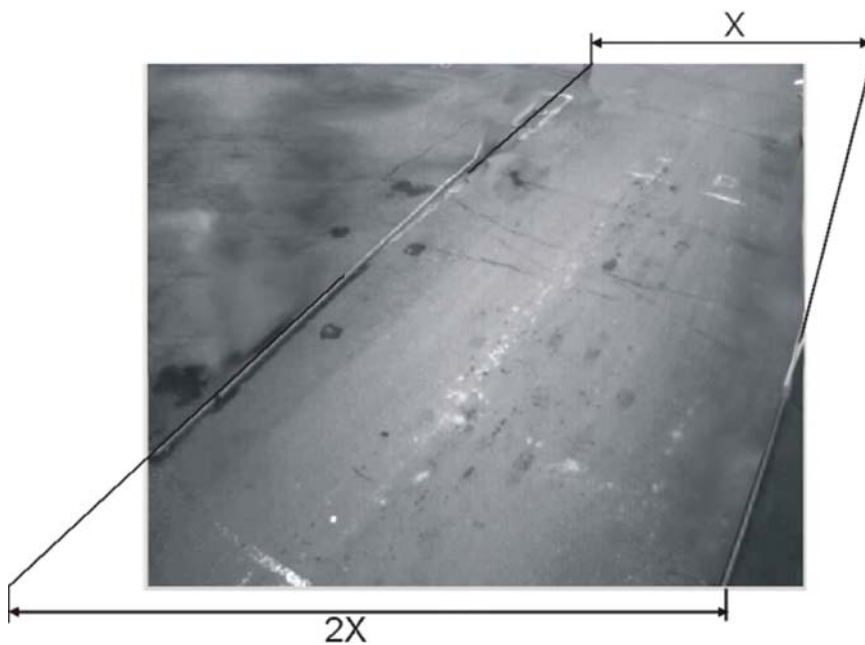


Рис. 5. К учету перспективы при вычислении площади изменений

6. Анализ состояния сцены

Для анализа состояния сцены выбраны следующие величины.

1. Вектор движения V . Его большая амплитуда говорит о том, что объект уверенно движется в течение нескольких кадров в неизменном направлении. Знак проекции вектора свидетельствует о направлении движения: положительное значение – движение слева направо; отрицательное значение – движение справа налево.

2. Площадь междукадровых изменений S свидетельствует о величине движущегося объекта. Сравнивая его с пороговым значением, можно отличить человека от автомобиля.

3. Координаты центра тяжести изменений (X_{wc} , Y_{wc}). Если центр тяжести находится в левом нижнем углу, значит, либо машина въезжает слева, либо уезжает налево. Если он находится в правом верхнем, значит, либо машина въезжает справа, либо уезжает направо.

4. Дисперсия по горизонтали и вертикали говорит о вытянутости объекта. Для охранника $\delta x > \delta y$, для автомобиля $\delta x < \delta y$.

Введем понятие «Состояние сцены». Сцена может иметь следующие состояния

1. «Въезд слева».
2. «Уезд направо».
3. «Въезд справа».
4. «Уезд налево».
5. «Нет движения».

Объединяя все вышеприведенные заключения, получаем логику анализа состояния сцены, приведенную на рис. 6.

7. Тестирование алгоритма

Первоначально алгоритм создавался на ПК в среде Borland Delphi и тестировался на большом числе отснятого видеоматериала: в ночных условиях, в условиях снегопада и дождя, в условиях напряженного автомобильного движения. Видеоролики снимались как высококачественной цветной видеокамерой (25 кадров в секунду), так и с использованием самого ИВД. Затем алгоритм был перенесен на платформу ИВД и уже окончательно протестирован[3][4].

Для финального тестирования алгоритма был выбран 24 часовой временной интервал, что позволило провести испытание и в дневное и в ночное время суток. Всего за это время в поле зрения ИВД проехала 121 машина.

Результат тестирования приведен в таблице.

Результат тестирования

Зарегистрировано фото	149	
Зарегистрировано машин	121	100 %
Правильно идентифицировано	108	87 %
Повторных срабатываний	22	17 %
Ложных срабатываний	4	3 %

Как видно из приведенных результатов, достоверность работы алгоритма вполне приемлема.



Рис. 6. Логика принятия решений

8. Заключение

Проведена разработка экономичного и высокоэффективного алгоритма контроля проезда автотранспорта, отлажена программная реализация алгоритма, и на практике проверена работоспособность технологии контроля с использованием встроенной видеоаналитики в реальных (всепогодных) условиях эксплуатации. Алгоритм основан на анализе градиентов яркости, обладает устойчивостью к самым разным изменениям освещенности и погодным условиям. Ресурсоемкость алгоритма соответствует вычислительному потенциалу встроенного в ИВД микропроцессора, что позволяет ему вести непрерывный круглосуточный и круглогодичный контроль в режиме реального времени.

Литература

1. Жуков И. В., Ершков А. А. и др. Разработка лабораторного образца интеллектуального визуального датчика // Доклад на VI-й научно-технической конференции «Молодежь в науке», г. Саров, 30 октября – 1 ноября 2007 г. С. 53.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. - В двух книгах.
3. Жуков И. В., Елисеев И. А. и др. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615153, «Программа управления и контроля интеллектуального визуального датчика», 24.10.2008.
4. Жуков И. В., Мочалов М. Р., Елисеев И. А., Городнов А. А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010612908, «Программа для распознавания и регистрации автотранспортных средств», 14.07.2010.