

ВИДЕОМОНИТОРИНГ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

О. С. Астратов,

канд. техн. наук, профессор

В. Н. Филатов,

канд. техн. наук, доцент

Н. В. Чернышова,

аспирантка

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассмотрены вопросы организации мониторинга дорожного движения. Дана сравнительная характеристика детекторов транспорта, описаны особенности наблюдения и контроля за транспортными потоками с помощью видеодетектора транспорта, предложена структура поста видеомониторинга. Приведены алгоритмы цифровой обработки видеоизображений, использованные для оценки параметров транспортных средств и потоков на автомагистралях. Реализуемость и работоспособность алгоритмов подтверждается экспериментальными результатами.

The questions of organization of monitoring of road movement are considered. The comparative characteristic of detectors of transport is given, the features of supervision and control of transport flows with the help of the video detector of transport are described, the structure of a post of video monitoring is offered. The algorithms of digital processing of the video images used for an estimation of parameters of vehicles and flows on highways are given. The realizability and serviceability of algorithms proves to be true by experimental results.

Введение

Управление транспортными потоками является необходимым условием ритмичного и бесперебойного функционирования больших городов. Использование автоматизированных систем управления движением (АСУД) и их постоянное совершенствование позволяет решать все возрастающие по сложности транспортные задачи. Современные системы управления движением относятся к классу автоматизированных систем управления технологическими процессами и имеют все присущие таким системам составляющие: средства сбора информации о состоянии транспортных потоков (ТП); средства передачи различных видов информации в пункт обработки и регистрации; средства обработки информации, образующие управляющий вычислительный комплекс системы; местные исполнительные устройства (дорожные контроллеры), а также средства диспетчерского контроля и управления дорожным движением [1].

Совокупность средств сбора, передачи и обработки информации образует единую систему мониторинга транспортных потоков города. Ее главной задачей является достоверное измерение таких параметров ТП, как состав, плотность, неравномерность, средняя скорость потока, скорость и ускорение отдельного транспортного средства (ТС), что позволяет эффективно управлять дорожным движением. Одним из основных звеньев системы мониторинга являются детекторы транспорта (ДТ), включающие аппаратуру обнаружения, распознавания и измерения.

Локализация и распознавание трехмерных объектов на изображении – одна из типовых задач технического зрения. В большинстве таких систем на стадии предварительной обработки значительные усилия тратятся на описание элементов трехмерного представления объектов и установления их связей с элементами двумерного изображения. Установление этого соответствия и служит залогом надежного распознавания. Однако стадия извлечения характерных элементов и процесс согласования требуют больших вычислительных и временных затрат.

Выделение ТС и их видовая классификация могут быть произведены без привлечения сложных и трудоемких алгоритмов распознавания. Это достижимо при учете специфики наблюдения и требований к системе мониторинга. Местоположение ТС и его вид могут быть определены на основе выделения и различения параметров движения непосредственно из видеоданных, полученных в процессе наблюдения за фиксированной областью пространства. Такой подход, допускающий ряд ограничений, возможен при учете следующих конкретных особенностей наблюдения ТС:

видеокамера стационарна и расположена высоко над контролируемым участком движения транспорта; движение ТС преимущественно прямолинейное; фон неподвижен;

проекция ТС на плоскость изображения имеют вид прямоугольников;

алфавит ТС для их классификации состоит из трех – пяти основных разновидностей (например, мотоциклы, легковые автомобили, микроавтобусы, грузовики и автобусы, автопоезда).

Учет этих особенностей позволяет упростить и ускорить процесс обработки с сохранением требуемой помехоустойчивости, достоверности и точности измерений.

В данной работе приводятся результаты применения достаточно простых методов обработки видеосигнала с целью получения параметров движения ТС и характеристик ТП: разностный алгоритм выделения движущихся областей на изображении, пороговая обработка с гистерезисом, морфологическая обработка.

Детекторы транспорта

Как показал опыт эксплуатации АСУД, ДТ оказались самым «слабым местом» в ее техническом обеспечении. Если средства связи и обработки данных, опирающиеся на самые современные достижения электронной и вычислительной техники, способны высококачественно обрабатывать значительные объемы информации, то получение точных и надежных ДТ – сложная научно-техническая проблема [1, 2].

Основное назначение ДТ – оценка интегральных и дифференциальных параметров ТС и ТП. Требования, которые предъявляются к ДТ, сложны и разнообразны. Они определяются сложностью и разнообразием дорожных ситуаций и содержат следующие положения:

- установка и эксплуатация ДТ, не препятствующие движению ТС;
- реализуемость как в стационарном, так и мобильном варианте;
- охват одним ДТ возможно большего числа полос движения ТС;
- простота монтажа и эксплуатации;
- совместимость выходных сигналов ДТ с существующими информационными системами;
- надежность и устойчивость работы, большой срок наработки на отказ;

возможность модернизации.

В настоящее время используется, особенно в зарубежной практике, несколько типов ДТ, работающих на основе применения различных физических принципов [3]. В исследованиях [4], проводимых в Texas Transportation Institute, приведены результаты сравнения шести распространенных типов ДТ: магнитного, акустического, инфракрасного, радиолокационного, индуктивного и видеодетектора транспорта (ВДТ). ДТ оценивались по пятибалльной шкале от «отлично» (5) до «неудовлетворительно» (1). Данные сравнения, приведенные в таблице, показывают, что ВДТ наилучшим образом удовлетворяет всем указанным требованиям. Высокий рейтинг, неуклонное совершенствование методов обработки видеоинформации, а также удешевление видеоаппаратуры и элементной базы позволяет рассчитывать на широкое внедрение ВДТ в системы АСУД. Кроме того, большая информативность и широкое поле обзора ВДТ позволяют решать дополнительный круг задач, которые недоступны при использовании других типов ДТ [2].

Итак, с совершенствованием элементной базы и удешевлением ПЗС матриц для видеокамер все большее применение в качестве ДТ находят компьютеризованные видеосистемы. Однако нельзя не признать и ряд недостатков, присущих ВДТ. Это зависимость качества работы, во-первых, от погодных и световых условий, и во-вторых, от взаимного расположения участников дорожного движения (например, частичное перекрытие или резкое изменение рядности движения).

Организация поста видеомониторинга

Организация пункта наблюдения и измерения (поста видеомониторинга) направлена в основном на правильную установку и настройку видеокамеры ВДТ

■ Оценка различных типов ДТ

Критерии оценки	Тип ДТ					
	Магнитный	Акустический	Инфракрасный	Радиолокационный	Индуктивный	Видео
Влияние окружающих условий	5	1	1	3	5	3
Необходимое пространство	2	3	4	3	2	4
Взаимодействие с трассой	1	5	5	5	5	5
Стоимость установки	4	1	2	2	4	2
Время установки	2	4	4	4	2	4
Жизненный цикл	2	3	4	2	4	3
Обнаружение ТС	Только движущихся	Неподвижных и движущихся	Неподвижных и движущихся	Неподвижных и движущихся	Неподвижных и движущихся	Неподвижных и движущихся
Число обслуживаемых полос движения	1	3	2	3	1	5
Точность	1	1	1	3	4	2
Итоговая оценка	18	21	23	25	27	28

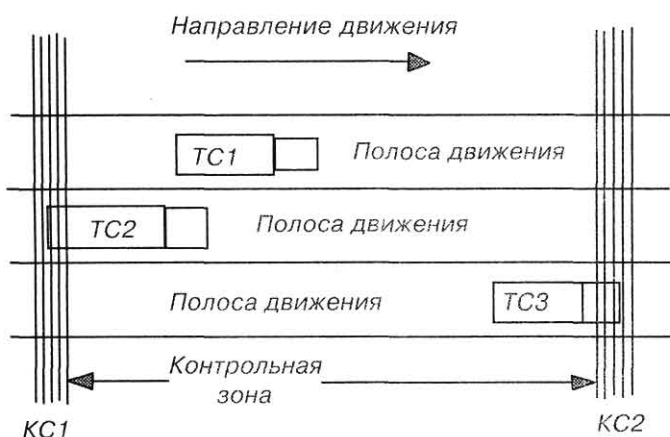
с учетом отмеченных требований, особенностей и ограничений. К установочным операциям относятся, прежде всего, выбор типа видеокамеры, масштабирование, фокусировка и выбор параметров поля обзора видеокамеры, а также привязка ее к местности (магистральной). Сигнал с видеокамеры контролируется с помощью мобильного монитора.

Установка поля обзора видеокамеры. При наблюдении сверху видеокамера должна размещаться так, чтобы строки растра располагались перпендикулярно направлению движения ТС. Тогда перспективные искажения малы и размеры ТС, движущихся на выбранном участке магистрали, изменяются незначительно. Поле обзора камеры делится на индивидуальные области анализа по числу полос движения, два контрольных сечения (КС) и контрольную зону (КЗ) между ними (рис. 1).

Для оценки динамических параметров ТС необходимо надежное определение двух временных параметров: момента пересечения КС транспортным средством t_n и времени нахождения ТС в КЗ T_n . Параметр T_n вычисляется путем вычитания времени въезда ТС в КЗ (пересечение первого КС) из времени его выезда из КЗ (пересечение второго КС). Знание параметров t_n и T_n позволяет определить как скорости отдельных ТС в КЗ, так и параметры ТП: общее количество транспортных средств за заданный промежуток времени, разделение прошедших ТС по типам, среднюю скорость движения по каждой полосе, заполнение каждой из полос, наличие заторов и пробок и т. д.

Чтобы более высокие ТС не скрывали низкие, видеокамера должна размещаться на высоте не менее 10 м. Это позволяет наблюдать раздельно две-три следующие друг за другом машины. Современные магистрали имеют до шести полос движения в одну сторону. Исходя из этого предположения, определим величину поля обзора. Стандартная ширина одной полосы городской магистрали равна 4 м. Если еще учесть с каждой стороны дороги запасную полосу шириной 2 м, то получим ширину контролируемого участка трассы $6 \times 4 \text{ м} + 2 \times 2 \text{ м} = 28 \text{ м}$. Учитывая формат кадра 4/3, получаем длину КЗ $L = 21 \text{ м}$. Практика показывает, что для четкого разделения транспортных средств, особенно крупногабаритных, эта величина должна составлять 25–35 м.

Измерение временных параметров. Обработка видеосигналов ведется индивидуально по полосам движения и для измерения параметров ТС необходи-



■ Рис. 1. Области анализа поля обзора

мо выделить два КС, которые будут ограничивать начало и конец КЗ. Каждое из КС образовано N -м количеством строк растра. В результате обработки видеосигнала в каждой области анализа от ТС в КС образуется пачка сигналов, причем длина пачки определяется положением ТС относительно КС.

Необходимо выбрать критерий для определения длины пачки, т. е. количества строк в контрольном сечении. В устройствах цифровой обработки радиолокационной информации [5] широко используются схемы логических обнаружителей движущихся объектов с критерием обнаружения типа « l из m » (l/m), где $l \leq m \leq 5$. Обычно этот критерий называется критерием фиксации начала пачки. В нашем случае – это критерий обнаружения ТС, а значит, и определения момента вхождения ТС в контрольное сечение. Для определения момента выхода ТС из КС в процессе обнаружения устанавливается также критерий конца пачки. Обычно конец пачки фиксируется при появлении серии из k пропусков подряд ($k = 2 - 3$). Если логическую схему фиксации начала пачки объединить с логической схемой фиксации конца пачки так, чтобы сигнал обнаружения (сигнал начала пачки) выдавался только в момент первого выполнения критерия « l/m », а сигнал конца пачки – только в момент первого выполнения критерия « k -пропусков», то получим обнаружитель с фиксацией границ пачки. Критерий обнаружения с фиксацией границ пачки записывается в виде $l/m-k$, где $l \leq m \leq 5$, $k = 2 - 3$ [5].

Чтобы повысить точность фиксации, выберем максимальное значение $m = 5$, а l, k примем равными 3. Таким образом, ширина КС будет составлять 5 строк ТВ-растра. По выбранному критерию обнаружения «3/5-3», код «11100» показывает, что в первых трех строках КС присутствует сигнал ТС и по нему фиксируется время въезда ТС в контрольное сечение. Код «00011» показывает, что ТС уже не присутствует в первых трех строках контрольного сечения, а начинает выходить из него. Каждый из указанных кодов (по 1-му и по 2-му сечениям отдельно) сравнивается с кодом обработанного текущего сигнала. В случае их совпадения выдается управляющий сигнал, по которому производится фиксация времени въезда или выезда ТС из 1-го или 2-го контрольного сечения. На основании этих данных и длины КЗ в ВДТ производится определение параметров ТС и ТП.

Например, отрезок времени между появлением ТС в 1-м и во 2-м КС характеризует его скорость ($v = L/T_n$), а длительность нахождения ТС в одном КС, которая определяется моментами въезда (код «11100») и выезда (код «00011») ТС в пределах одного сечения, характеризует длину ТС. Дублирование и усреднение оценок, полученных в соседних сечениях, увеличивает достоверность выходных данных.

Вероятность наличия ошибки в коде текущего сигнала, подаваемого на компараторы для обнаружения ТС, очень мала, так как код текущего сигнала представляет собой обработанную информацию той части строки, которая приходится на одну полосу движения, где находится одно ТС. При этом полученный сигнал обнаружения по каждой полосе движения формируется в результате накопления видеосигнала по всем растровым элементам этой части строки, что приводит к увеличению отношения сигнал-шум и достоверности обнаружения ТС.

Выбор видеокамеры. От точности фиксации временных параметров t_n и T_n зависит точность опреде-

ления динамических параметров ТС и ТП, диктуемая требованиями АСУД. С технической точки зрения эту точность необходимо согласовывать с характеристиками измеряемого процесса и с параметрами развертки камеры ВДТ. Следует иметь в виду, что минимальный интервал между ТС по условиям безопасности движения должен составлять не менее 1 с, а оценка T_n с такой же точностью обеспечивает верное распознавание заторной ситуации [1].

Так как точность измерения временных интервалов связана с дискретностью взятия отсчетов времени, то важное значение приобретает выбор камеры с заданными параметрами ТВ-разложения (периодами строчной T_c и кадровой T_k разверток).

Установим связь динамики ТС с параметрами ТВ-разложения. Если активная часть раstra имеет 512 строк разложения, то при длине КЗ 35 м на одну строку будет приходиться 0,07 м магистрали за вычетом 10 строк, отводимых на два КС. Ширина КС l_{KC} будет составлять $5 \times 0,07 = 0,35$ м, что обеспечивает достаточно точное различение и классификацию ТС по длине, исходя из минимальной длины ТС (мотоцикла) 1,5 м.

Найдем время прохождения ТС контрольной зоны T_n и время пересечения КС T_{KC} при $L = 35$ м, максимальной скорости $V_{TC} = 70$ км/ч = 19,4 м/с и длине ТС $l_{TC} = 1,5$ м:

$$T_n = (L + l_{TC}) / v_{TC} = (35 + 1,5) / 19,4 = 1,88 \text{ с};$$

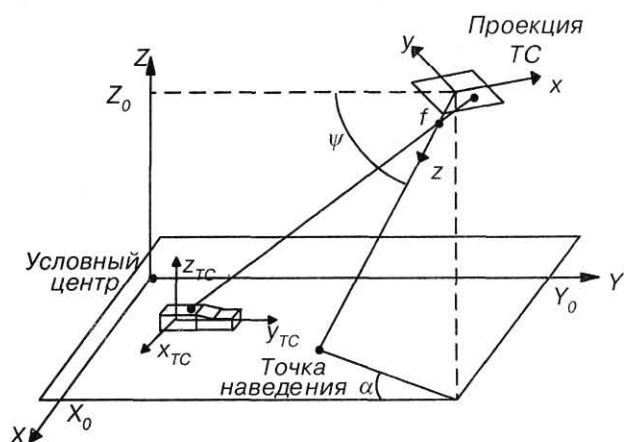
$$T_{KC} = (l_{TC} + l_{KC}) / v_{TC} = (1,5 + 0,35) / 19,4 = 0,095 \text{ с}.$$

Сравнивая эти значения с периодом кадров (периодом взятия отсчетов времени) вещательного стандарта $T_k = 0,04$ с, можно утверждать о возможности применения видеокамер со стандартным чересстрочным разложением в городских условиях движения ТС.

Для скоростных магистралей, где v_{TC} может достигать скорости 150 км/ч (41,7 м/с), а величины T_n и T_{KC} будут равны, соответственно, 0,88 и 0,05, следует использовать специализированные камеры с построчной разверткой, с частотой кадров 100 Гц и $T_k = 0,01$ с.

Привязка к местности. Наблюдение за дорожным движением сверху позволяет упростить пересчет координат и снизить размерность матрицы аффинных преобразований.

Пусть глобальная координатная система $\{X, Y, Z\}$ находится в плоскости магистрали и привязана к условному центру на ней, при этом координата Z представляет высоту (рис. 2). Начало экранной системы координат $\{x, y, z\}$ совмещено с центром мишени камеры.



■ Рис. 2. Координаты системы привязки камеры

Координаты $\{x, y, z\}$ некоторой точки в экранной системе могут быть пересчитаны в глобальную $\{X, Y, Z\}$. Применяя метод однородных координат, через матрицу аффинных преобразований M размерностью 4×4 , полученную путем произведения матриц частных преобразований, можно выразить все виды преобразований (сдвиги, повороты и проекции) [6]:

$$M = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & -\sin \alpha \sin \psi & -\sin \alpha \cos \psi & 0 \\ \sin \alpha & -\cos \alpha \sin \psi & -\cos \alpha \cos \psi & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ A & B & C & 1 \end{bmatrix},$$

где α – угол азимута; ψ – угол места (см. рис.2); $\{X_k, Y_k, Z_k\}$ – координаты расположения камеры в глобальном пространстве;

$$A = X_k \cos \alpha - Y_k \sin \alpha;$$

$$B = -Z_k \cos \psi + \sin \psi (X_k \sin \alpha + Y_k \cos \alpha);$$

$$C = Z_k \sin \psi + \cos \psi (X_k \sin \alpha + Y_k \cos \alpha).$$

Соответствующая обратная матрица имеет вид

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha \sin \psi & -\sin \psi \cos \alpha & \cos \psi & 0 \\ -\sin \alpha \cos \psi & -\cos \alpha \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ X_k & Y_k & Z_k & 1 \end{bmatrix}.$$

В общем случае для произвольной точки пространства справедливы следующие выражения:

$$(x, y, z, 1) = (X, Y, Z, 1) \times M; \quad (X, Y, Z, 1) = (x, y, z, 1) \times M^{-1}. \quad (1)$$

Прямое преобразование координат точек транспортного средства $P_i(x_i, y_i)$ в экранной системе координат на плоскости проекции в координаты глобальной системы – некорректно поставленная задача. Решение ее однозначно лишь в случае, если матрица M является матрицей калибровки, известны оптические параметры камеры и принята гипотеза о плоскопараллельности земли, плоскости движения ТС и плоскости проекции [7]. В этом случае при известных экранных координатах ТС $P_i(x_i, y_i)$ получаем линейную систему

$$\begin{cases} x_i = \frac{m_1 P_i}{m_3 P_i} \\ y_i = \frac{m_2 P_i}{m_3 P_i} \end{cases},$$

где $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ – глобальные координаты ТС; m_k – элементы калибровочного вектора $M = [m_1, m_2, m_3]^T$.

Таким образом, для измерения положения ТС необходима привязка камеры к местности (магистрали). В силу принятых ограничений решение задачи привязки упрощается. Как показано в работе [6], чтобы осуществить привязку видеокамеры к местности, нужно найти координаты видеокамеры $\{X_k, Y_k, Z_k\}$, а также углы зрения β , азимута α и места ψ , определяющие матрицу аффинных преобразований M . Для нахождения элементов матрицы необходимо расположить в глобальном пространстве несколько линейно независимых реперов с известными координатами. Реперы не должны располагаться в одной плоскости; их глобальные координаты должны быть точно известны;

число реперов должно быть равно или больше числа неизвестных параметров. Если же глобальные объектные координаты точки наведения отображаются на экране в точку с координатами $\{0, 0\}$, количество переменных и каноническое число реперов сокращают до трех. Как показано в работе [6], функции углов α и ψ можно выразить через координаты видеокамеры и точки наведения, что сокращает число неизвестных параметров до трех.

Структура поста видеомониторинга

Структурная схема аппаратной части поста видеомониторинга изображена на рис. 3. Аналоговый сигнал с выхода видеокамеры поступает на блок оцифровки изображения (видеокарту), где осуществляется его аналого-цифровое преобразование, а также преобразование ТВ-стандарта в стандарт видеокарты (число пикселей по горизонтали и вертикали определяется типом видеокарты). Затем цифровое изображение вводится в блок цифровой обработки, где выполняется обработка изображения в соответствии с разработанными алгоритмами и оцениваются параметры ТС и ТП. В результате обработки формируется информационный кадр, содержащий время и место наблюдения за участком магистрали, а также оценочные параметры. Информационный кадр поступает в модем и передается в центр управления. Передача возможна не только посредством радиопередатчика, но также и другими способами:

по телефонной линии с помощью внутреннего модема компьютера, который выполняет преобразование цифрового сигнала сжатого изображения в аналоговый сигнал для согласования телефонной линии с компьютером;

по каналу цифровой сотовой связи (через цифровой сотовый модем).

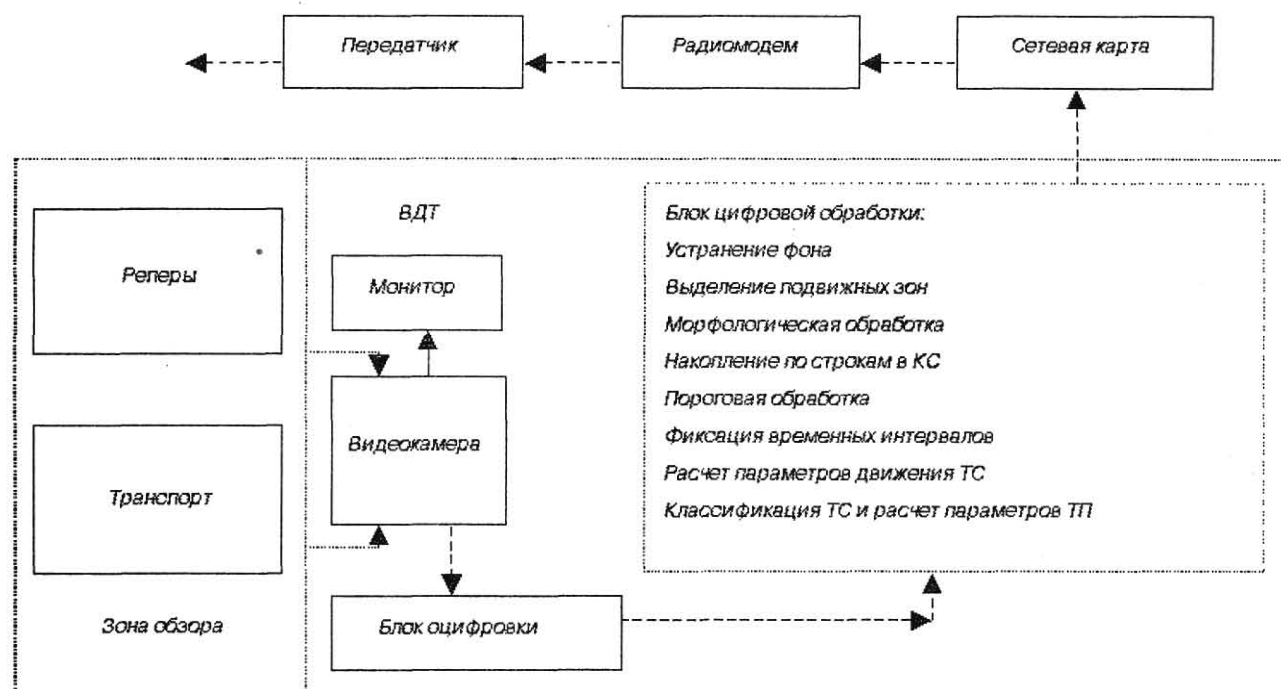
Цифровая обработка видеoinформации

Основные этапы обработки. При построении большинства существующих алгоритмов обнаружения движения предполагалось, что освещенность сцены со временем существенно не изменяется и имеет достаточно высокое значение. Однако в действительности это не всегда так, особенно в условиях естественного освещения и работы на открытом воздухе. Тогда метод простого вычитания изображения фона из текущего изображения сцены и применения пороговой обработки будет давать неточные результаты. Кроме того, этот метод плохо работает при слабой освещенности сцены, низком отношении сигнал-шум и изменчивости фона.

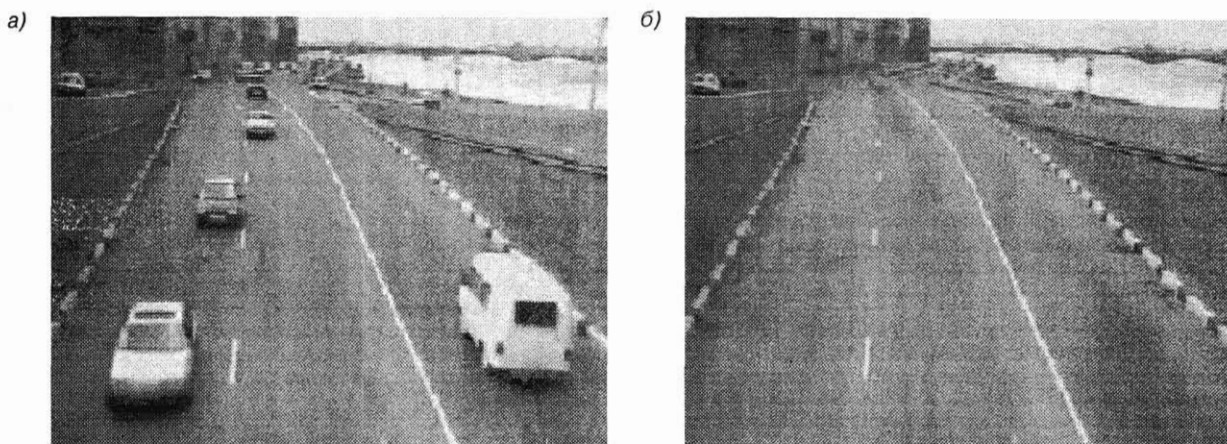
Для преодоления недостатков разностного метода необходима обработка последовательности видеок кадров в два взаимосвязанных этапа. На первом этапе проводится адаптивная оценка фона, получение разностного видеок кадра и пороговое обнаружение фрагментов, в которых произошли изменения, свойственные движущимся объектам. На втором этапе производится сегментация разностного видеок кадра с обрамлением связанных фрагментов, которые преодолели порог, с использованием морфологической обработки. Затем производится измерение моментов пересечения связными областями КС и определение параметров ТС и ТП.

Выполнение подобной обработки – достаточно сложная задача, поэтому проблему выделения движущихся объектов целесообразно представить в виде последовательного выполнения нескольких относительно независимых операций:

- оценка фона путем отслеживания его изменений;
- компенсация фона;
- пороговое обнаружение движущихся фрагментов;



■ Рис. 3. Структура поста с ВДТ



■ Рис. 4. Входное изображение (а) и изображение фона (б)

морфологическая обработка с использованием операций эрозии, наращивания и открытия; фиксирование моментов пересечения контрольных сечений связными областями; расчет основных параметров выделенных ТС, их классификация и определение параметров ТП.

Оценка и компенсация фона

Оценка и компенсация фона. Для конкретизации условий работы ВДТ будем считать, что видеокамера неподвижна и имеет фиксированные оптические параметры. Отметим, что изменения сигнала фона $V_{\Phi}(t)$ происходят значительно медленнее, чем изменения в видеосигнале из-за движения объектов. Поэтому оценка фона производится по информации нескольких кадров, после чего выделение сигналов изменяющихся областей реализуется на основе сравнения сформированной оценки сигнала фона $\hat{V}_{\Phi}(t)$ и сигнала текущего видеокadra $V(t)$.

Для формирования оценки фона в каждом пикселе (растровом элементе) $p(x, y)$ с координатами x, y по кадру воспользуемся аппаратом фильтрации Калмана, который позволяет адаптироваться к яркостным изменениям фона [6].

В нашем случае уравнение наблюдения запишем в следующем виде:

$$V(k, p) = V_{\Phi}(k, p) + \eta(k, p),$$

где $V(k, p)$ – значение видеосигнала изображения в точке p в k -м кадре; $V_{\Phi}(k, p)$ – значение видеосигнала фона в точке p в k -м кадре; $\eta(k, p)$ – гауссовский шум, воздействующий на входное изображение (ошибка измерения).

Запишем уравнение состояния фона:

$$V_{\Phi}(k + 1, p) = V_{\Phi}(k, p) + \mu(k),$$

где $V_{\Phi}(k + 1, p)$ – значение видеосигнала фона в точке p в $(k+1)$ -м кадре; $\mu(k)$ – ошибка модели динамики фона.

Главным преимуществом такого подхода является то, что он принимает в расчет как медленные изменения сцены, обусловленные изменением освещенности, так и внезапные изменения, обусловленные появлением в сцене новых объектов. На рис. 4, а показан один кадр из видеопоследовательности, на котором изображена дорога с движущимися автомо-

билями; на рис. 4, б – изображение (оценка) фона, полученное после применения фильтра Калмана к данной видеопоследовательности.

Сформированная оценка фона позволяет выделить в кадре фрагменты (области) изображения с признаками движения путем вычисления разностного изображения $V_r(x, y)$ между входным изображением $V(x, y)$ и оценкой фона $\hat{V}_{\Phi}(x, y)$;

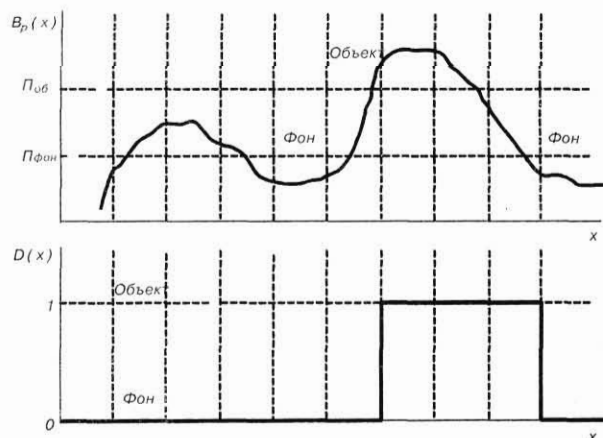
$$V_r(x, y) = |V(x, y) - \hat{V}_{\Phi}(x, y)|. \quad (2)$$

Пороговое обнаружение. Для более надежного выделения областей кадра, принадлежащих движущимся объектам, и устранения помех и шумов к разностному изображению $V_r(x, y)$ применяется пороговая обработка с гистерезисом, имеющая два порога – $\Pi_{об}$, $\Pi_{фон}$ и два состояния – фон, объект (рис. 5), т. е.

$$D(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{если состояние – объект и } V_r(x, y) < \Pi_{фон}, \\ 1, & \text{если состояние – фон и } V_r(x, y) > \Pi_{об}, \end{cases} \quad (3)$$

где $D(x, y)$ – бинарное изображение.

Величина порогов зависит от освещенности сцены и определяется экспериментально по реальным изображениям. Если предшествующее состояние системы – фон, а в анализируемой точке кадра



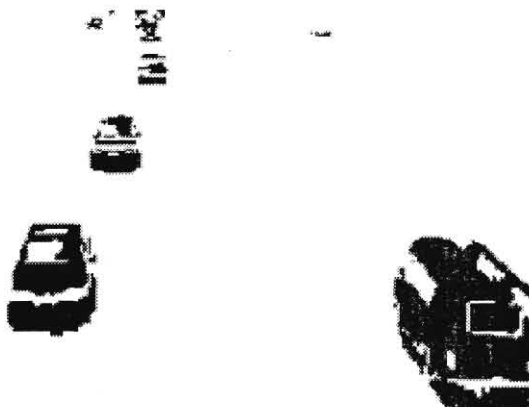
■ Рис. 5. Пороговая обработка с гистерезисом вдоль строки

$V_p(x, y) > P_{об}$, то сигналу этой точки присваивается единичное значение (точка принадлежит объекту), и система переключается в состояние *объект*. Аналогично, если предшествующее состояние – *объект*, а $V_p(x, y) > P_{ф}$, то сигналу точки присваивается нулевое значение и система устанавливается в состояние *фон*. Таким образом, решение о том, какое значение будет иметь обрабатываемый пиксель, принимается не только по величине сигнала в этой точке, но и в предшествующих ей, что, безусловно, повышает надежность обнаружения подвижных объектов. В результате этой обработки получается бинарное изображение $D(x, y)$, в котором пиксели, принадлежащие движущимся областям, имеют значение 1, а пиксели фона – 0. Использование предложенного метода устранения фона позволяет уменьшить количество обрабатываемых данных и определить с большей точностью местонахождение движущихся объектов в поле зрения видеокамеры.

Морфологическая фильтрация. Операции выделения границ изображения, устранения шумов, а также устранения ошибок компенсации фона без воздействия на область локального «полезного» движения могут быть эффективно произведены при помощи морфологической фильтрации.

Морфологическая фильтрация представляет собой способ нелинейной обработки изображений с помощью маски (структурного элемента). Базовыми операциями морфологической обработки являются эрозия и наращивание. Для обеих операций задается структурный элемент, ненулевые значения которого определяют, какие из элементов изображения следует учитывать при выполнении операции.

При эрозии бинарного изображения элемент исходного изображения сбрасывается в ноль, если хотя бы один из элементов окрестности, соответствующий ненулевому элементу маски, равен 0. При наращивании бинарного изображения элемент исходного изображения устанавливается в 1, если хотя бы один из элементов окрестности, соответствующий ненулевому элементу маски, равен 1. В нашем случае для устранения шумов и реконструкции бинарной формы объектов применяются бинарные морфологические операторы со структурным элементом 3×3 , что позволяет получить бинарное изображение, характеризующееся однородными и связными областями (рис. 6).



■ Рис. 6. Силуэты ТС

Ошибки компенсации движения фона устраняются с помощью операции морфологического открытия. Операция открытия представляет собой последовательное применение эрозии и наращивания. Эта операция приводит к соединению областей фона, разведенных узкими участками элементов объектов. Для удаления небольших фрагментов фона внутри объектов применяется операция закрытия, которая является последовательным применением наращивания и эрозии.

Классификация транспортных средств. На этом этапе производится формирование адаптивных индивидуальных стробов (ИС) минимального размера, которые охватывают каждый из обнаруженных объектов. Это позволяет индивидуализировать объекты и маркировать их для персональной раздельной обработки. При вычислении размеров прямоугольных стробов на двумерном дискретном массиве определяется область, ограниченная пересечением двух строк и двух столбцов, причем столбцы задают левую и правую границы объекта на плоскости изображения, а строки – верхнюю и нижнюю границы.

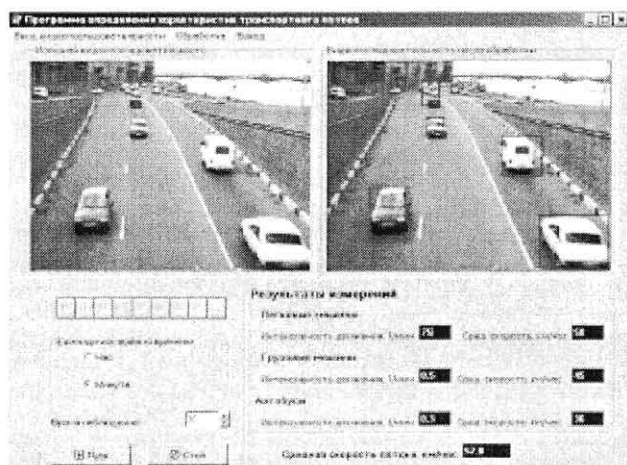
Алгоритм обработки состоит из трех подалгоритмов [8]. В первом определяется общий строб, который охватывает все присутствующие в сцене объекты. Его границами являются первые строки и столбцы, начиная от краев исходного изображения. В следующем подалгоритме производится разделение общего строба на индивидуальные, охватывающие отдельные выделенные объекты. Таким образом, производится отделение объектов друг от друга и присваивание персонального номера каждому из них (маркировка). Этот процесс продолжается до тех пор, пока не закончится просмотр всей исследуемой области. В третьем подалгоритме производится адаптация размеров стробов к размерам объектов.

Формирование ИС для всех подозреваемых в движении фрагментов изображения позволяет произвести более тщательную обработку внутри каждого строба и, прежде всего, повторную пороговую обработку с гистерезисом. Эта обработка может быть индивидуализирована за счет применения порогов, согласованных с локальными свойствами изображений внутри каждого строба.

Итак, по результатам морфологической обработки формируются ИС минимальных размеров, охватывающие ТС. Следовательно, ширина и длина ИС могут служить видовой характеристикой отслеживаемого ТС, которая позволяет провести его грубую классификацию. Таким образом, предложенный алгоритм устраняет необходимость в точном извлечении сложных специфических признаков ТС и их согласовании с моделями или эталонами ТС, хранящимися в памяти, так как положение и вид ТС частично определены формой и положением ИС. Такая постановка задачи гарантирует уверенное выполнение данных алгоритмов в реальном масштабе времени.

Кроме того, важным фактом, способствующим проведению надежной классификации, является то, что ракурс ТС в поле зрения камеры меняется мало, а незначительные вариации изображений ТС не препятствуют упрощению алгоритма классификации.

Измерение динамических параметров транспортных средств и потоков. Динамические параметры ТС в отдельности и ТП в целом вычисляются с использованием результатов классификации и замеров времени пересечения КС выделенными ТС. На основании времени пересечения контрольных сечений



■ Рис. 7. Информационный кадр

(см. рис. 1), расположенных на базовом расстоянии L , определяется продолжительность прохождения этого расстояния отдельным ТС, рассчитывается его скорость и ускорение.

Маркировка и классификация ТС по видам позволяет оценить такие параметры ТП, как общая плотность потока на участке магистрали, интенсивность движения по полосам, состав и неравномерность ТП в различные интервалы времени. Кроме того, могут быть подсчитаны средняя скорость ТП и количество фактов ускорения ТС в потоке за определенный промежуток времени.

Полученные с помощью несложных вычислений числовые данные отображаются в соответствующих окнах информационного кадра (рис. 7).

Заключение

Предложенные тип детектора транспорта, организация постов видеонаблюдения и измерения, структура, принципы и алгоритмы обработки видеоинформации с целью оценки параметров транспор-

тных потоков показывают возможность построения автоматизированной системы видеомониторинга дорожного движения.

Рассмотренная иерархическая структура блока цифровой обработки видеопоследовательности позволяет учесть как особенности транспортной задачи, так и характер изображений сцены. Использование эффективных адаптивных методов обработки обеспечивает быстрое и надежное выделение движущихся объектов, их классификацию, независимую раздельную обработку каждого из объектов, а также определение их интегральных и дифференциальных динамических параметров.

Литература

1. Хилажев Е. Б., Кондратьев В. Д. Микропроцессорная техника в управлении транспортными потоками. – М.: Транспорт, 1987. – 430 с.
2. Астратов О. С., Обухова Н. А., Тимофеев Б. С. Автоматизированный контроль транспортных потоков с помощью телевизионных систем // Радиотехнические и телевизионные системы: Сб. научн. тр. / Под ред. Б. С. Тимофеева. – СПб.: Изд-во СПбГУАП, 2000. – С. 61–68.
3. Traffic Engineering Handbook: Institute of Transportation Engineers. – Washington, D. C., 1992. – 228 p.
4. <http://tti.tamu.edu>
5. Кузьмин С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
6. Тимофеев Б. С. Многокамерные телевизионные охранные системы // Техника кино и телевидения. – 1997. – № 8. – С. 30–33.
7. Foresti G. L., Regazzoni C. S. A real-time model based method for 3-D object orientation estimation in outdoor scenes // IEEE Signal Proc. Lett. – 1997. – Vol. 4. – P. 240–251.
8. Астратов О. С., Филатов В. Н., Чернышова Н. В. Экологический телевизионный мониторинг транспортных потоков. Рукопись деп. в ВИНТИ 07.07.2003 № 1289-B2003 СПбГУАП. – 21 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЛИТЕХНИКА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ

Куприянов М. С., Матюшкин Б. Д.

Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – 592 с.: ил.

Книга содержит три части. Первая часть «Процессоры цифровой обработки сигналов» посвящена архитектуре и особенностям организации DSP. Во второй части «Алгоритмы цифровой обработки сигналов» рассматриваются основы теории дискретных систем, методы анализа эффектов квантования сигналов при реализации алгоритмов обработки на DSP, базовые алгоритмы ЦОС и их реализация на DSP. Третья часть «Инструментальные средства проектирования систем ЦОС» содержит описание программных и аппаратных средств, используемых для решения задач проектирования и входящих в стартовый комплекс разработчика систем ЦОС. В приложении приведена система команд семейств DSP5600x и DSP5630x.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся проектированием систем ЦОС, а также студентов соответствующих специальностей технических университетов.

