

УДК 531.7

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ УЧЕБНОГО АВТОМОБИЛЯ НА АВТОДРОМЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОПОТОКА**

***Е.В. Мельников***

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Рассматриваются методы поиска положения автомобиля и определения его траектории и скорости на учебном автодроме.*

***Ключевые слова:*** автодром, траектория, тенеподавление, корреляция.

В соответствии с «Методикой проведения квалификационных экзаменов на получение права на управление транспортными средствами» проведение первого этапа практического экзамена должно осуществляться на автоматизированном автодроме, оборудование которого непрерывно определяет координаты автомобиля, скорость и правильность прохождения упражнений.

В настоящий момент на рынке оборудования для автоматизации автодромов представлено несколько принципиально разных систем, общим для которых является упор на использование различных датчиков, как встраиваемых в дорожное полотно полигона, так и устанавливаемых по обочинам трасс. Недостатком данных решений является слабая приспособленность такого оборудования для работы в зимних условиях при отрицательных температурах, вызывающих его обледенение. В связи с этим встал вопрос о разработке системы, определяющей параметры движения автомобиля путем обработки видеопотока с камер, установленных на учебном автодроме. Данная технология не зависит от состояния дорожного покрытия автодрома и должна обеспечивать погрешность не более 1 см по измерению положения и 5% по скорости. Для обеспечения заданной погрешности определения траектории движения автомобиля и определения его скорости, согласно расчетам, необходимо разместить 38 камер с разрешающей способностью 2048×1536 точек. На рис. 1 представлена схема автодрома с расставленными упражнениями и местами установки видеокамер.

Разрабатываемое программное обеспечение автодрома решает следующие задачи:

- 1) динамическое определение заднего плана автодрома;
- 2) удаление теней на изображении;
- 3) выделение точек движущихся объектов и их отбраковка;
- 4) определение начала траектории в кадре и ее отслеживание;
- 5) расчет скорости движения учебных автомобилей;
- 6) подсчет штрафных баллов на основании полученных данных.

Для выделения точек движущегося объекта (автомобиля) используется алгоритм вычитания фона (background subtraction) [1]. Идея метода заключается в нахождении базового фона, из которого в дальнейшем вычитается видеопоследовательность с целью получения маски переднего плана. Так как задний план не является статической картинкой (ветер, тени, листья), необходимо использовать алгоритмы с адаптивным порогом вычитания фона. Данный алгоритм моделирует каждый пиксель

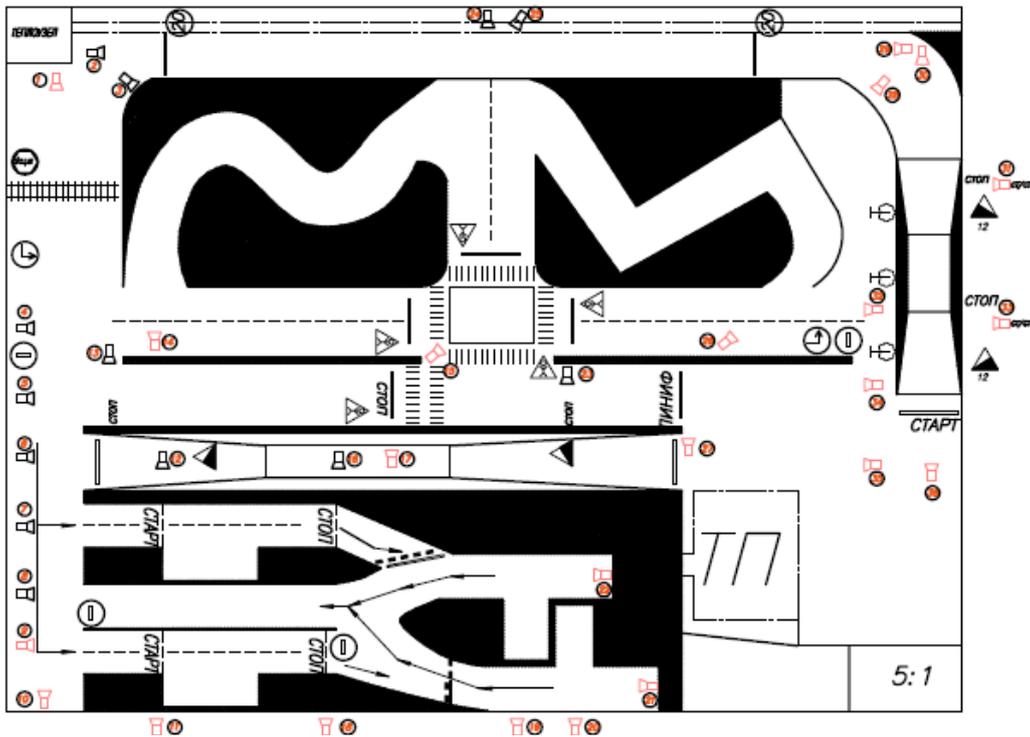
заднего плана с помощью трехмерной (по цветовым составляющим  $R, G, B$ ) нормально распределенной случайной величины, т. е.

$$B_{R,G,B} \sim N(x, \mu, \delta^2).$$

Первые  $n$  кадров (когда камере виден только задний план) для каждого пикселя алгоритм производит оценку параметров модели, т. е.  $\mu$  и  $\delta^2$ , используя аппарат математической статистики, а потом, после того как обучение закончено, попиксельно использует вероятностный порог для того, чтобы определить, принадлежит ли значение пикселя заднему плану или переднему. Для оценки параметров модели  $\mu$  и  $\delta^2$  для каждого пикселя применяется выборочное среднее и среднее квадратичное отклонение значений в данном пикселе, т. е.

$$\mu_{R,G,B} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i; \quad \delta_{R,G,B}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2,$$

где  $X_1 \dots X_n$  – значения по первым  $n$  кадрам. Эта операция производится по каждому компоненту цвета, далее для каждого следующего кадра и для каждого пикселя. Обозначим как  $c$  значение в текущем кадре для  $(i, j)$  пикселя. Если  $\frac{|\mu_{R,G,B} - c|}{\delta_{R,G,B}} \leq e$ , то данный пиксель сегментируется в задний план, иначе он сегментируется в передний план.



Р и с . 1. Схема автодрома с установленными видеокамерами

Для устранения шума к полученному бинарному изображению применяется медианный фильтр.

Параметр  $e$  влияет на чувствительность алгоритма и выбирается из следующих соображений. Фиксируется некоторое число  $\alpha \in (0, 1)$ . После этого относительно  $e$  решается уравнение  $P\left(\frac{|\mu - \xi|}{\delta} \leq e\right) = \alpha$ , где  $\xi \sim N(\mu, \delta^2)$ . Для простоты индексы

цвета в дальнейшем опущены. Число  $\alpha$  есть ни что иное, как вероятность того, что отклонение, вызванное шумом камеры, попадет в указанную выше  $e$ -окрестность. Очень часто пользуются  $e = 3$ , которому соответствует значение  $\alpha \approx 0,98$ . Данный алгоритм решает проблему шума камеры, т. к. имеет адаптивный вероятностный порог.

Для обнаружения теней используется алгоритм тенеподавления, использующий локальные (попиксельные) свойства теней. Рассмотрим некоторую точку видеокадра, имеющую цвет  $(R, G, B)$ , тогда после падения на эту точку тени она будет иметь цвет  $\alpha^*(R, G, B)$ , где коэффициент  $\alpha$  определяет, насколько упала освещенность в точке. Пусть  $(R_1, G_1, B_1)$  – цвет заднего плана в некотором пикселе (т. е. оценка мат. ожидания 3-мерной случайной величины, моделирующей задний план в данном пикселе), а  $(R_2, G_2, B_2)$  – текущее значение в этом пикселе. Сперва перейдем в цветовое пространство  $YUV$ , т. е.  $(R_i, G_i, B_i) \rightarrow (Y_i, U_i, V_i)$   $i=1, 2$ . В  $YUV$  компонента  $Y$  определяет интенсивность, а компоненты  $U, V$  – цветность. Таким образом, при падении тени на объект значение  $Y$  должно серьезно уменьшиться, а значения  $U, V$  практически не поменяются. Текущее значение в пикселе классифицируется как тень, если  $|U_1 - U_2| \leq \alpha$ ,  $|V_1 - V_2| \leq \beta$ ,  $Y_2 < Y_1$ , где  $\alpha, \beta$  – значения порогов, определяющие чувствительность системы тенеподавления.

Отбраковка найденных движущихся объектов происходит путем сопоставления с эталонным изображением. Для этого рассчитывается взаимная нормированная корреляция для пикселя  $(m, n)$ :

$$\tilde{R}_{FT}(m, n) = \frac{\sum_j \sum_k [F(j, k) - T(j - m, k - n)]}{\sum_j \sum_k [F(j, k)]^2},$$

где  $F(j, k)$  – элемент массива видеокадра, на котором производится поиск;  $T(j, k)$  – элемент эталонного изображения.

Далее производится сравнение полученного значения с порогом. Считается, что имеет место сходство, если

$$\tilde{R}_{FT}(m, n) > L_R(m, n).$$

Величина  $L_R$  определяется экспериментально.

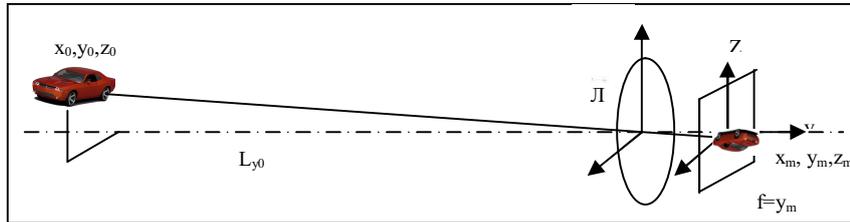
Определение размеров и дальности до объекта производится по априорно известной величине транспортного средства (рис. 2) [2]. При известном размере автомобиля  $A$  расстояние до него  $y_0$ , согласно законам геометрической оптики, может быть рассчитано по соотношению

$$y_0 = \frac{f(A + a_m)}{a_m} \approx \frac{fA}{a_m},$$

где  $a_m$  – размер объекта на фотоприемной матрице объектива  $L$ ,  $f$  – фокусное расстояние объектива.

Абсолютная погрешность  $\Delta y_0$  измерения расстояния в этом случае

$$\Delta y_0 = -\frac{fA}{a_m^2} \Delta a_m.$$



Р и с . 2. Определение скорости автомобиля

Вычисление всех составляющих скорости автомобиля производится в системе координат местности (при поперечном движении определение скорости производится непосредственно по изменению координат центра тяжести изображения в системе координат местности; при продольном – по изменению масштаба изображения; при произвольном движении используется комбинированный алгоритм).

Составляющие линейной скорости автомобиля определяются по формулам:

$$V_x = \frac{h(y_{0-f})}{f} \left[ \frac{\Delta x_p}{\Delta t} \right]$$

$$V_{y1} = -\frac{(y_{0-f})}{a_p} \left[ \frac{\Delta a_p}{\Delta t} \right]$$

$$V_{y2} = -\frac{(y_{0-f})}{b_p} \left[ \frac{\Delta b_p}{\Delta t} \right]$$

$$V_z = -\frac{h(y_{0-f})}{f} \left[ \frac{\Delta z_p}{\Delta t} \right]$$

где  $\Delta x_p, \Delta z_p$  – изменение поперечных координат центра тяжести автомобиля на фотоприемной матрице камеры в пикселях;

$h$  – шаг расположения фотоприемных элементов на матрице;

$f$  – фокусное расстояние объектива;

$\Delta a_p, \Delta b_p$  – изменение размеров плоского изображения автомобиля на матрице (в пикселях). Величина полной скорости в этом случае определяется следующим образом:

$$V = \sqrt{\left[ \frac{h(y_{0-f})}{f} \left[ \frac{\Delta x_p}{\Delta t} \right] \right]^2 + \left[ \frac{h(y_{0-f})}{f} \left[ \frac{\Delta z_p}{\Delta t} \right] \right]^2 + \frac{(y_{0-f})}{a_p b_p} \left[ \frac{\Delta a_p}{\Delta t} \right] \left[ \frac{\Delta b_p}{\Delta t} \right]}.$$

Учет двух составляющих скорости по направлению  $y$  (по изменению размеров изображения  $a_x$  и  $b_z$ ) обеспечивает снижение погрешности измерений. Погрешности измерения положения и скорости обусловлены многими причинами. Из основных погрешностей значительный вес имеет погрешность, обусловленная дискретизацией изображения, составляющими которой являются пространственная дискретизация фотоприемной матрицы, расстояние до объекта измерения, дисторсия оптической системы [3, 4].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаганов В., Конушин А. Сегментация движущихся объектов в видеопотоке // Компьютерная графика и мультимедиа. – Вып. №3(7). – 2004.

2. Макарецкий Е., Овчинников А., Нгуен Л.Х. Телевизионные измерительные системы контроля скоростного режима дорожного движения // Компоненты и технологии. – №4. – 2007.
3. Жиганов И.Ю. Метрологические основы дистанционных телевизионных методов измерения геометрических параметров объектов // Известия Самар. научн. центра РАН. – Вып. №3. – Том 11. – 2009.
4. Куликов А. Реальная разрешающая способность телевизионной камеры // Специальная техника. – №2. – 2002.

*Статья поступила в редакцию 23 марта 2011 г.*

UDC 531.7

## **DEVELOPING THE TRAINING CENTER CAR COORDINATES DEFINITION METHOD BASED ON VIDEO STREAM ANALYSIS**

***E.V. Melnikov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*For creation of the automated autodrome intended for carrying out training and delivery of the first part of examination in practical driving, the information measuring system defining trajectories of motor transport movement and making automatic charge of penal points is developed.*

**Keywords:** *autodrome, the trajectory, the suppression of the shadows, correlation.*