

М. И. ТРУФАНОВ, С. В. ПРИЛУЦКИЙ

**СПОСОБ
ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ПЕРЕД ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
БИНОКУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

Представлен способ обнаружения препятствий перед движущимся транспортным средством путем анализа изображений, формируемых бинокулярной системой технического зрения. Способ характеризуется большим диапазоном обнаружения препятствий и высокой точностью оценки их координат.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, техническое зрение, транспортное средство, траектория движения, обнаружение препятствий.

Важнейшей задачей в условиях постоянного роста количества транспортных средств является обеспечение безопасности дорожного движения. Существенную долю риска среди прочих факторов составляют столкновения транспортного средства (ТС) с неподвижными препятствиями и встречными автомобилями [1]. В этой связи особую значимость приобретает создание автоматических средств достоверной оценки расстояния между ТС и препятствием в процессе движения для своевременного предупреждения водителя о возможном столкновении.

Серийно выпускаемые технические средства обеспечивают лишь частичное решение указанной задачи и характеризуются ограниченными функциональными возможностями. Так, известны ультразвуковые радары и системы предупреждения столкновений, применяемые для оценки расстояния до препятствия при парковке. Недостаток таких средств заключается в возможности обнаружения только объемных препятствий и низкой селективности. Известны также системы технического зрения для предупреждения столкновений, функционирующие лишь в условиях хорошей освещенности и не обеспечивающие своевременного обнаружения встречного подвижного объекта при высокой скорости движения.

Значительное внимание системам предотвращения столкновений уделено зарубежными разработчиками [2—6].

В частности, в работе [2] представлена интеллектуальная система помощи водителю, основанная на анализе показаний радара, установленного в переднем бампере. Кроме того, предусмотрена возможность получения данных от бортовой системы глобальной системы навигации для предупреждения о поворотах и перекрестках. Недостатками системы являются

невозможность селективной (раздельной) обработки данных о различных препятствиях вследствие особенностей работы радара (широкой диаграммы направленности антенны радара, являющейся датчиком информации) и необходимость использования вспомогательных навигационных данных для своевременного предупреждения водителя об особенностях дорожного движения.

В работе [6] представлен типичный способ обнаружения препятствий, к недостаткам которого относится высокая вероятность появления погрешностей измерений, а также сложность практического применения при различной интенсивности дорожного движения вследствие необходимости получения информации о количестве объектов вспомогательными средствами. Еще одним недостатком является небольшой диапазон рабочих расстояний системы, на которых осуществляется достоверное обнаружение объектов.

Анализ доступных разработок и публикаций позволил установить, что на сегодняшний день не существует средств, в полной мере обеспечивающих решение задачи своевременного обнаружения препятствий. Одной из нерешенных проблем является низкая точность вычисления координат возможного препятствия и недостаточная, для своевременного предупреждения водителя, дальность обнаружения встречного объекта.

В настоящей статье представлен способ, позволяющий обеспечить повышение дальности и точности обнаружения препятствий при помощи бинокулярной системы технического зрения, наблюдающей дорожную обстановку по ходу движения транспортного средства.

Предлагаемый способ заключается в следующем. Система технического зрения (СТЗ), состоящая из двух оптико-электронных датчиков (ОЭД), обеспечивающих бинокулярное техническое зрение, устанавливается на транспортном средстве и ориентируется по направлению движения. При помощи ОЭД СТЗ в различные моменты времени формируются стереопары изображений рабочей сцены, на изображениях выделяются одинаковые объекты и измеряются их трехмерные координаты. По этим координатам каждого объекта определяют траектории движения объектов в кадре. В случае если траектория движения какого-либо объекта (объектов) пересекает траекторию движения транспортного средства, формируется предупреждающий сигнал. Траектории ТС и встречных объектов считаются прямолинейными, скорости движения — постоянными на временном участке между моментами измерений.

Рассмотрим перечисленные операции предлагаемого подхода подробнее. Для получения изображения рабочей сцены на транспортном средстве закрепляют два ОЭД и ориентируют относительно друг друга и ТС согласно схеме, представленной на рис. 1: ОЭД располагают на заданном расстоянии $L = 1,1 \dots 1,5$ м, что обусловлено габаритными размерами ТС; главные оптические оси ОЭД ориентируют под равными углами $\alpha/2$ к нормали к прямой, проходящей через ОЭД.

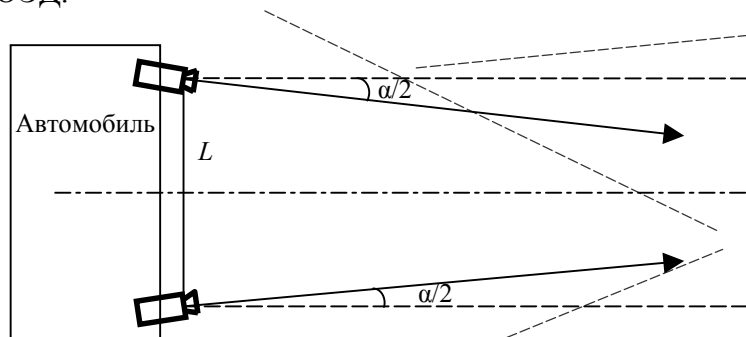


Рис. 1

Данное расположение ОЭД (в отличие от традиционной бинокулярной системы с параллельными главными оптическими осями) обеспечивает повышенную точность измерения пространственных координат объектов за счет увеличенной базы и меньшее минимальное рабочее расстояние за счет ориентации главных оптических осей ОЭД под углом к друг другу.

После получения изображения рабочей сцены каждым из ОЭД производится поиск одних и тех же объектов на разных кадрах изображения. Объект описывается совокупностью контуров, его составляющих. Сопоставление объектов осуществляется на основе расчета функции принадлежности μ для каждой пары объектов Q_{1i}, Q_{2j} [7] на различных кадрах изображений бинокулярной системы технического зрения:

$$\mu_{ij} = \mu_{\text{ид}}(Q_{1i}, Q_{2j}) \wedge \mu_{\text{идвн}}(Q_{1i}, Q_{2j}) \wedge \mu_{\text{идг}}(Q_{1i}, Q_{2j}),$$

где $\mu_{\text{ид}}$, $\mu_{\text{идвн}}$, $\mu_{\text{идг}}$ — функции принадлежности термам „внутренняя идентичность“, „внешняя идентичность“, „идентичность гистограмм“; индексы i, j определяют очередной анализируемый объект кадра изображения.

Далее осуществляется выбор пары для каждого объекта Q_{1i} с максимальным значением функции

$$\mu_{ij} = \max(\mu_{ij}).$$

Для каждого объекта измеряются его двумерные координаты $(x_{Q_1}, y_{Q_1}), (x_{Q_2}, y_{Q_2})$ на каждом из кадров стереопары и затем рассчитываются трехмерные координаты объектов (x_Q, y_Q, z_Q) :

$$\langle x_Q, y_Q, z_Q \rangle = M_{3D}(x_{Q_1}(I_{Q_1}(x, y)), y_{Q_1}(I_{Q_1}(x, y)), x_{Q_2}(I_{Q_2}(x, y)), y_{Q_2}(I_{Q_2}(x, y))),$$

где M_{3D} — функция расчета трехмерных координат объектов по их двумерным координатам; $I_{Q_1}(x, y), I_{Q_2}(x, y)$ — изображения, поступающие с оптико-электронных датчиков СТЗ.

Поясним принцип определения координат объекта (препятствия), для чего вычислим координаты (x, y, z) одной из крайних точек T , определяющих его габариты. Расчет координат осуществляется путем решения системы уравнений, полученной из геометрической схемы, представленной на рис. 2 (мировая система координат совпадает с системой координат правого ОЭД;

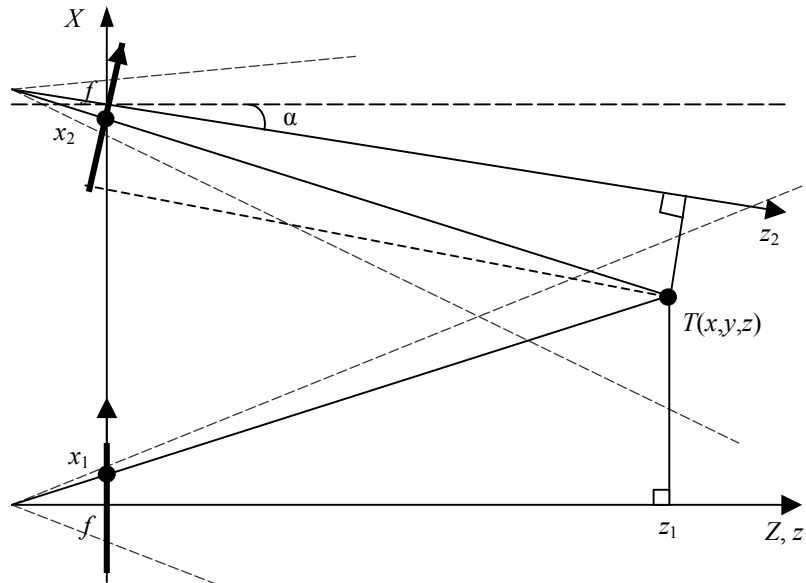


Рис. 2

ось Z совпадает с его главной оптической осью; оси X, Y направлены соответственно влево и вверх, ось Y не показана на рисунке):

$$\left. \begin{aligned} \frac{f}{x_1} &= \frac{z + f}{x}, \\ \frac{f}{x_2} &= \frac{f + (L - z \sin \alpha - x) \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{(L - z \sin \alpha - x) \cos \alpha} \end{aligned} \right\}$$

$$z = -\frac{f(-f \cos \alpha \cdot L + \cos \alpha \cdot x_1 f + x_2 f + x_2 \sin \alpha \cdot L - x_2 \sin^3 \alpha \cdot L - x_2 \sin \alpha \cdot x_1 + x_2 \sin^3 \alpha \cdot x_1)}{f^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \cdot x_1 f - x_2 \sin^2 \alpha \cdot f + x_2 \sin^4 \alpha \cdot f - x_2 \sin \alpha \cdot x_1 + x_2 \sin^3 \alpha \cdot x_1},$$

$$x = \frac{(f \cos \alpha \cdot L - x_2 f - x_2 \sin \alpha \cdot L + x_2 \sin^3 \alpha \cdot L + f^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha - x_2 \sin^2 \alpha \cdot f + x_2 \sin^4 \alpha \cdot f) x_1}{f^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \cdot x_1 f - x_2 \sin^2 \alpha \cdot f + x_2 \sin^4 \alpha \cdot f - x_2 \sin \alpha \cdot x_1 + x_2 \sin^3 \alpha \cdot x_1},$$

$$y = (z + f) / y_1,$$

где f — фокусные расстояния ОЭД, x_1, x_2 — абсциссы объекта на изображениях, формируемых ОЭД; y_1 — ордината объекта на изображении, полученном с первого ОЭД.

Ордината точки T рассчитывается после вычисления координат z и x .

Обнаружение препятствия заключается в анализе траектории движения каждого объекта Q рабочей сцены и определении, может ли траектория движения объекта пересечь область, соответствующую положению СТЗ транспортного средства на траектории его движения. Если траектория движения ТС и одна или несколько траекторий движения объектов пересекаются, то принимается решение о возможном столкновении.

Для обнаружения препятствия определяются направления движения объектов, текущая скорость их движения и время возможного столкновения.

Пусть транспортное средство с установленной на нем СТЗ находится в центре системы координат (рис. 3) и движется с известной скоростью $v_{ТС}$ по оси Z . Встречный объект движется с неизвестной скоростью v_Q . Получение двух стереопар изображения в различные моменты времени t_1 и t_2 позволяет определить координаты (z_1, x_1) и (z_2, x_2) и затем вычислить проекции скорости v_{Qz}, v_{Qx} на оси Z и X соответственно.

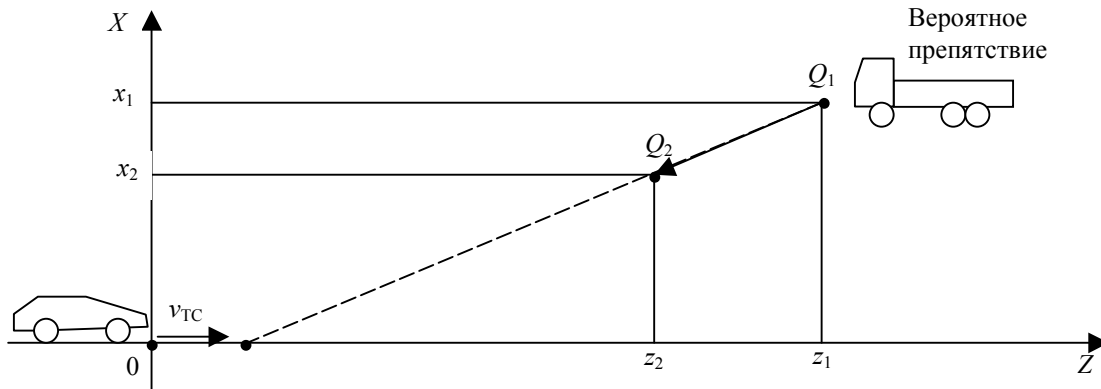


Рис. 3

Приведем выражения для расчета координат ТС и встречного объекта в момент времени t :

$$y_{ТС}(t) = 0,$$

$$z_{ТС}(t) = v_{ТС} t,$$

$$z_Q(t) = z_1 + v_{Qz} t = z_1 + (z_1 - z_2) / (t_1 - t_2) t,$$

$$x_Q(t) = x_1 + v_{Qx} t = x_1 + (x_1 - x_2) / (t_1 - t_2) t.$$

Приравняв правые части уравнений, определяющие соответствующие координаты объектов, определим моменты времени t_x, t_z , в которые координаты совпадают:

$$t_x = -x_1 / ((x_1 - x_2) / (t_1 - t_2)), \quad t_z = -z_1 / ((z_1 - z_2) / (t_1 - t_2) - v_{ТС}).$$

Оба уравнения линейные и имеют один корень. Критерием пересечения траекторий движения ТС и объекта является равенство времен t_x, t_z и их положительные значения, определяющие факт возможного столкновения позднее текущего момента времени: $t_x = t_z > 0$.

Для предотвращения столкновения в расчетных соотношениях должны быть учтены погрешности измерения координат объектов, от которых зависит погрешность расчета вре-

мени столкновения Δt . В результате условие для определения времени возможного столкновения приобретает следующий вид:

$$t_x > 0, \quad t_z > 0, \quad |t_x - t_z| < \Delta t. \quad (1)$$

При определении времени возможного столкновения с неподвижным препятствием выражения упрощаются:

$$x_Q = 0, \quad t_z = z_1 / v_{TC}, \quad t_z > 0. \quad (2)$$

Соотношения (1) и (2) позволяют определить время возможного столкновения с препятствием. В случае если это время меньше предварительно заданного, формируется предупреждающий сигнал.

Рассмотренные операции могут быть реализованы на цифровом вычислительном средстве с подключенными к нему двумя ОЭД. В качестве вычислительного средства могут быть использованы портативный персональный компьютер, а также специально разрабатываемые средства на базе программируемых логических интегральных схем и микроЭВМ или сигнальных процессоров. В качестве ОЭД целесообразно использовать малогабаритные видеокамеры (в частности, экспериментальные исследования проводились с использованием видеокамер Logitech 9000).

Представленный способ позволяет повысить точность определения положения вероятного препятствия в пространстве за счет увеличения базы бинокулярной системы технического зрения и анализа траекторий движения возможных препятствий, а также расширить диапазон рабочих расстояний.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ, № МК-6351.2010.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Московский автомобильно-дорожный институт, школа проф. А. А. Юрчевского [Электронный ресурс]: <<http://auto.madi.ru/index.php?page=school6>>.
2. Nissan to Equip „Fuga“ / Intelligent Pedal, Intelligent Cruise Control [Электронный ресурс]: <http://techon.nikkeibp.co.jp/english/news_en/20071214/144251/ Nissan to Equip 'Fuga' w/ 'Intelligent Pedal,' 'Intelligent Cruise Control'>.
3. Pat. 7436430 USA, H04N 7/18. Obstacle Detection Apparatus and Method / *Takeda, Nobuyuki, Hattori, Hiroshi*. 10/923,048; Publ. 14.10.08.
4. Pat. 7389171 USA, B60K 31/00. Single Vision Sensor Object Detection System / *J. Rupp*. 10/572,542; Publ. 17.07.08.
5. Pat. 7306331 USA, G02C 7/16. Vision Protection Device for Night Driving / *A. Tigert*. 11/244,922; Publ. 11.12.07.
6. Pat. 7248968 USA, G06K9/20. Obstacle Detection Using Stereo Vision / *J. Franklin Reid*. 10/977,675; Publ. 24.07.2007.
7. Нечеткая математическая модель автофокусирующейся системы обработки изображений / *М. И. Труфанов, Т. А. Ширабакина* // Изв. вузов. Приборостроение. 2003. Т. 46, № 11. С. 12—16.

Сведения об авторах

Максим Игоревич Труфанов

— канд. техн. наук, доцент; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: temp1202@mail.ru

Сергей Викторович Прилуцкий

— аспирант; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: temp1202@mail.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
14.04.10 г.