

УДК 629.42.067

**А. С. Корнев, Д. С. Смирнов**Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ  
СТОЛКНОВЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

Рассмотрена возможность адаптации систем, использующих средства технического зрения, для применения на железных дорогах с целью предотвращения столкновений. Исследованы система с активно-импульсной телевизионной камерой и стереовидеосистема на базе двух CCD-видеокамер для установления наиболее подходящего с технической точки зрения объекта дальнейшего усовершенствования и внедрения в качестве системы безопасности. Приведены алгоритмы обнаружения препятствий на пути движения поезда и определения степени их опасности в режиме реального времени.

Точка схода, плоскость ректификации, юстировка, ортофото, признаковое изображение.

Одним из значимых факторов повышения безопасности движения поездов на железных дорогах РФ послужило внедрение микропроцессорных локомотивных систем безопасности нового поколения, к которым относятся:

- единая комплексная система (ЕКС) управления и обеспечения безопасности движения на тяговом подвижном составе, включающая системы автоведения поезда (УСАВП) и автоматического торможения (САУТ-ЦМ), комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У) с функцией принудительной остановки локомотива (КУПОЛ) по команде поездного диспетчера или дежурного по станции, передаваемой по цифровому радиоканалу, и подключаемую к КЛУБ-У телемеханическую систему контроля бдительности машиниста (ТСКБМ);

- безопасный локомотивный объединенный комплекс (БЛОК), объединивший на программном и аппаратном уровне КЛУБ-У, САУТ и ТСКБМ.

Однако эти системы не предназначены для предотвращения столкновений поездов, следующих в попутном и встречном направлениях. Не существует и каких-либо технических

средств, которые предупреждали бы машиниста о нахождении людей на путях, а работников путей служб – о приближении поезда. Безопасность в этом случае обеспечивается внимательностью машиниста и бдительностью работников и значительно снижается в темное время суток и в условиях плохой видимости.

Для решения задачи обнаружения препятствия на расстоянии, которое позволит избежать столкновения, рассмотрим более подробно две системы технического зрения и выберем самую подходящую.

**Система предупреждения  
столкновений с активно-импульсной  
телевизионной камерой****Технические характеристики**

Одним из вариантов решения задачи предотвращения столкновений является создание локомотивной системы, основанной на техническом зрении. Работа этой системы базируется на использовании активно-импульсной телевизионной камеры с оптическим увеличением изображения, которая позволяет рас-

познавать объекты на расстоянии до 2500 м круглосуточно в любых погодных условиях и определять расстояние до них (рис. 1).

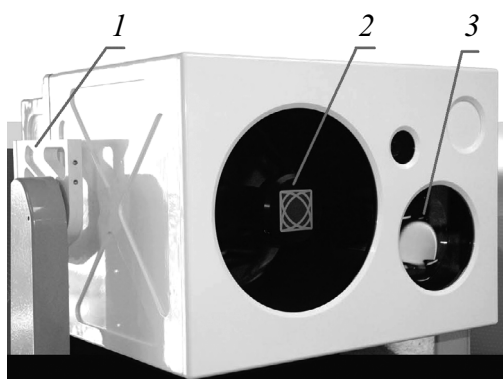


Рис. 1. Камера ARGC-2400:  
1 – поворотное устройство; 2 – объектив блока наблюдения; 3 – импульсный лазерный осветитель

Габаритные размеры:  
длина 0,55 м;  
ширина 0,37 м;  
высота 0,52 м.

#### Определение степени опасности обнаруженных объектов

Для определения степени опасности обнаруженных объектов, находящихся в области интереса относительно оси пути следования

поезда, необходимо вычислить поправочные коэффициенты точки схода  $W$  в единой системе координат (ЕСК) с помощью плоскости ректификации (нижней плоскости железнодорожной инфраструктуры) [4]. Построение плоскости ректификации осуществляется с помощью двух прямых –  $C_1$  и  $C_2$ , касательных к рельсам железнодорожного пути, и уточненной координаты точки схода  $W$ , являющейся точкой пересечения этих прямых на уровне горизонта (рис. 2). Координаты точек касательных вычисляются во время юстировки (проверки и наладки) системы технического зрения в целях определения углов наклона видеокамеры относительно гиросtabilизируемой платформы. Координаты точки  $W$  вычисляются решением системы уравнений касательных [3]:

$$\begin{cases} y = a_1x + b_1; \\ y = a_2x + b_2, \end{cases}$$

где  $a_1 = \text{tg}\theta_1$ ;  $a_2 = \text{tg}\theta_2$ ;  $b_1$  и  $b_2$  вычисляются из уравнений прямой с использованием точек юстировки  $C_1(x_1, y_1)$ ,  $C_1(x_2, y_2)$ ,  $C_2(x_1, y_1)$ ,  $C_2(x_2, y_2)$ .

#### Увеличение угла обзора

Для успешной адаптации системы технического зрения с целью предотвращения стол-

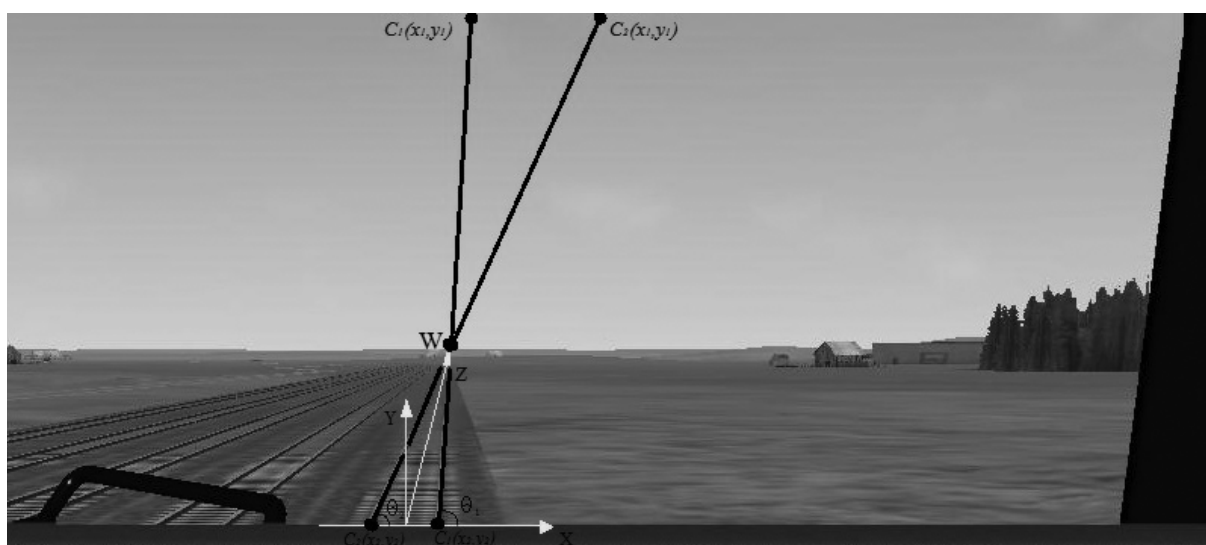


Рис. 2. Геометрическое положение касательных линий  $C_1$  и  $C_2$

кновений на железных дорогах необходимо увеличить угол обзора системы. Это позволит обеспечить распознавание не только объектов, находящихся в очертаниях габарита подвижного состава, но и потенциально опасных объектов в непосредственной близости от него.

Существенным ограничением применения системы технического зрения является недостаточная дальность видимости объектов при следовании поезда в кривой и на подъеме (спуске). Снизить влияние этого ограничения можно, если обеспечить поворот камеры в горизонтальной плоскости на угол  $\beta$  и в вертикальной плоскости на угол  $\gamma$ .

В этом случае угол  $\beta$  будет прямо пропорционален углу поворота кривой  $\alpha$  и обратно пропорционален радиусу кривой  $R$  (рис. 3).

Таким образом,  $\beta = f(\alpha, R)$ , причем

$$\alpha = \frac{i_{\text{Э(к)}} \cdot l_n}{12,2},$$

где  $i_{\text{Э(к)}}$  (‰) – уклон, эквивалентный дополнительному сопротивлению от кривой;  $l_n$  (м) – длина поезда.

$$\text{Поскольку } i_{\text{Э(к)}} = \frac{700}{R}, \alpha = \frac{57,4 \cdot l_n}{R}.$$

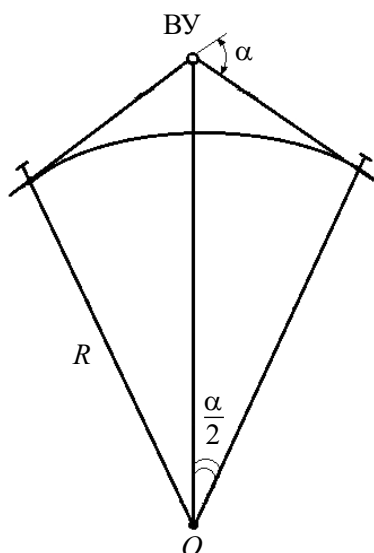


Рис. 3. Круговая кривая железнодорожного пути: ВУ – вершина угла

Наименьший радиус кривых при проектировании дополнительных главных путей и усилении (реконструкции) имеющихся железных дорог устанавливают в зависимости от намечаемых скоростей движения пассажирских и грузовых поездов и радиусов кривых проложенного пути. Минимально допустимый радиус кривой 200 м, максимальный – 4000 м.

Угол  $\gamma = f(h, l)$ , или  $\gamma = f(i)$ , где  $h$  (м) – длина перпендикуляра, проведенного из высшей точки подъема (спуска) на горизонтальную плоскость;  $l$  (м) – длина прямой от начала подъема (спуска) до перпендикуляра  $h$ ;  $i$  (‰) – уклон поверхности, равный тангенсу угла  $\delta$ :

$$\text{tg} \delta = \frac{h}{l}.$$

### Обнаружение и распознавание объектов

Алгоритм обнаружения и распознавания препятствий включает процедуры оценки признаков непрерывности линий и сравнения текущих значений цвета, яркости, формы и размера с занесенными в базу системы эталонными значениями этих параметров [3].

### Система предупреждения столкновений с двумя ССD-видеокамерами

Стереовидеосистема на базе двух ССD-видеокамер – это бортовой компьютер с платами оцифровки ТВ-изображений и спецвычислителем, поддерживающим набор функций обработки изображений на аппаратном уровне.

### Алгоритм обнаружения препятствий. Метод радиального ортофото

В основе алгоритма обнаружения препятствий лежит метод радиального ортофото (ортогональные проекции левого и правого изображений стереопары на вспомогательную плоскость, построенные в полярной системе

координат). На первом этапе выполняется пространственная реконструкция подстилающей поверхности (железнодорожного полотна).

Для описания поверхности выбрана аналитическая модель [2]:

$$Z(X, Y) = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Y,$$

где  $X, Y, Z$  – координаты точки поверхности в системе координат  $(OX_cY_cZ_c)$ .

Ось  $OX_c$  направлена вперед по ходу движения поезда, ось  $OY_c$  перпендикулярна оси  $OX_c$  и ориентирована вправо, ось  $OZ_c$  направлена вверх по нормали к поверхности, плоскость  $OX_cY_c$  совпадает с плоскостью подстилающей поверхности.

Параметры  $a_i, i = 0, 1, 2, 3$  модели  $Z(X, Y)$  определяются методом наименьших квадратов по набору трехмерных точек рельсов, которые принадлежат поверхности и заведомо не относятся к обнаруживаемому объекту.

Для построения радиального ортофото в масштабе реального времени используется алгоритм, основанный на кусочно-билинейной трансформации изображений. Область железнодорожного полотна разбивается на участки с фиксированным шагом по дальности. Каждый участок имеет четыре угловые точки, задаваемые положением рельсов на текущей дальности. Для каждой точки определяется соответствующая ей точка на трансформированном изображении.

Преобразование набора из четырех точек исходного изображения в набор из четырех точек трансформированного изображения, записанное в виде

$$x = x(\varepsilon, \eta); \quad y = y(\varepsilon, \eta),$$

где  $x, y$  – координата точки на исходном изображении;  $\varepsilon, \eta$  – координата точки на трансформированном изображении, может быть реализовано в билинейной форме:

$$x = B\varepsilon + C\varepsilon\eta + E\eta + F;$$

$$y = H\varepsilon + K\varepsilon\eta + M\eta + N,$$

где  $B, C, E, F, H, K, M, N$  – коэффициенты преобразования.

### Алгоритм стереоотождествления

Алгоритм стереоотождествления вертикальных контуров использует условие расположения препятствия в области, ограниченной линиями рельсов, что позволяет существенно уменьшить область поиска пути, задающего стереосоответствие. Область железнодорожного полотна разбивается на участки, ограниченные линиями рельсов. На каждом участке область поиска пути, задающего стереосоответствие, ограничивается (рис. 4):

- прямыми, отвечающими значениям угловой диспаратности  $A(D_{\min})$  и  $A(D_{\max})$  на минимальной  $D_{\min}$  и максимальной  $D_{\max}$  дальности участка;
- положением линий рельсов на минимальной дальности участка.

В качестве результирующей области поиска рассматривается объединение областей, полученных на отдельных участках. Полученные стереоконтурные передаются в блок много-

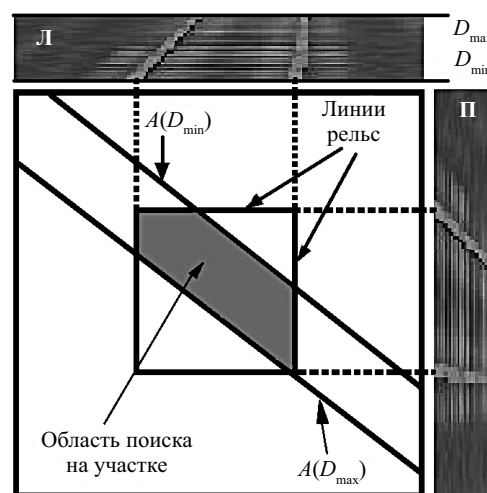


Рис. 4. Построение области поиска пути, задающего стереосоответствие для интервала дальностей  $[D_{\min}, D_{\max}]$  (показаны фрагменты левого (Л) и правого (П) признаковых изображений (свертка радиального ортофото с маской модифицированного оператора Собеля) для  $[D_{\min}, D_{\max}]$  и положение линий рельсов)

канальной вторичной обработки информации, отличительной особенностью которой является сопровождение отдельных стереоконтуров, а не объектов в целом. Преимущество такой обработки проявляется в том, что в результирующей сборке гипотез участвуют только те контуры, информация о которых подтверждена последовательностью кадров и динамические атрибуты которых укладываются в рамки реально возможных перемещений исследуемых объектов.

### **Компенсация движения камеры относительно сцены наблюдения**

Алгоритмы, обеспечивающие автоматическую оценку и компенсацию движения камеры относительно сцены наблюдения, разработаны в ГосНИИАС и характеризуются следующими особенностями: быстрая корреляционная привязка фона по пирамиде изображений либо по набору динамически выделяемых особых точек; морфологическое проецирование яркости Ю. П. Пытьева; сравнение текущей межкадровой разности с накопленной разностной матрицей; опора на несколько динамически формируемых базовых кадров [1].

### **Заключение**

Технический уровень современной техники позволяет обнаружить и распознать объекты на железнодорожных путях и вблизи них

на расстоянии, достаточном для предотвращения возможных столкновений.

Наиболее подходящей для решения поставленной задачи является стереовидеосистема на базе двух CCD-видеокамер. Достаточно простой алгоритм обнаружения препятствий позволяет предотвращать столкновения при высокой скорости движения поезда.

### **Библиографический список**

1. Визильтер Ю. В. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов // Сб. трудов науч.-технич. конф.-семинара «Техническое зрение в системах управления мобильными объектами 2010», Таруса, 16–18 марта 2010 г. – М. : КДУ, 2011. – С. 11–44.
2. Выголов О. В. Обнаружение препятствий перед наземным мобильным объектом в бортовой системе технического стереозрения реального времени / О. В. Выголов, С. Ю. Желтов, Ю. В. Визильтер // Сб. трудов науч.-технич. конф.-семинара «Техническое зрение в системах управления мобильными объектами 2010», Таруса, 16–18 марта 2010 г. – М. : КДУ, 2011. – С. 202–216.
3. Иванов Ю. А. Технология компьютерного зрения для наблюдения за объектами путевой инфраструктуры / Ю. А. Иванов // Техника железных дорог. – 2011. – № 4 (16). – С. 57–61.
4. Ким Н. В. Автоматическая система предотвращения столкновений локомотива, основанная на техническом зрении / Н. В. Ким, Ю. А. Иванов // Техника железных дорог. – 2013. – № 1 (21). – С. 67–70.