

ОБРАБОТКА ВИДЕОСИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ НА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКЕ

Васин Н.Н., Куринский В.Ю.

Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики

Аннотация

Рассматривается метод обработки видеосигналов для измерения скорости движения вагонов при роспуске железнодорожного состава на сортировочной горке. Разрабатываемые алгоритмы основаны на геометрических моделях и математических методах обработки изображений. Описаны методы формирования модели, методы определения смещения железнодорожного состава в плоскости регистрирующего прибора (ПЗС-матрицы цифровой видеокамеры), функционирование разработанного метода.

Постановка задачи

Измерение скорости движения железнодорожных вагонов на сортировочной горке предполагает размещение средства регистрации изображения подвижного состава (цифровой видеокамеры) (рис. 1).

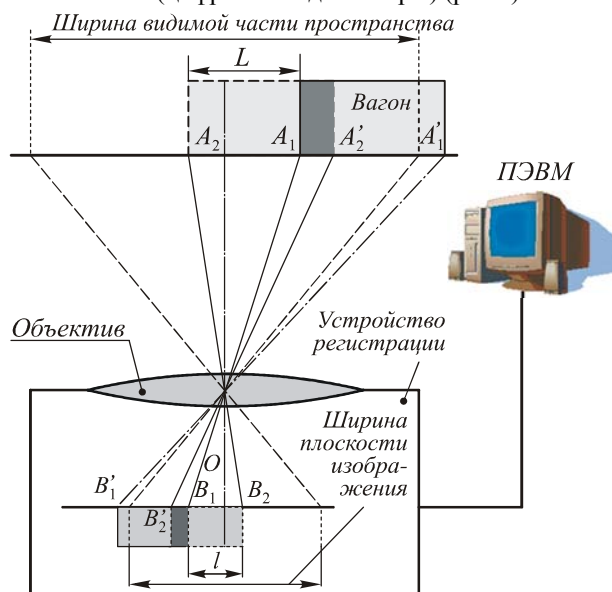


Рис. 1. Геометрическая модель съемки

Образ перемещаемого объекта (вагона или состава), находясь в положении A_1 , регистрируется на цифровом изображении так, что точка объекта A_1 отображается в точку изображения B_1 . Через определенное время Δt производится повторная регистрация объекта. В этот момент объект находится в положении A_2 , и та же точка объекта, отмеченная на рисунке как A_2 , отображается на цифровом изображении в точку B_2 . Цифровые изображения подвижного состава, получаемые устройством регистрации R , последовательно поступают на вычислительный блок C , осуществляющий автоматический расчет параметров движения состава (рис.1). Результаты вычислений отправляются на удаленное вычислительное устройство (ПЭВМ), цель которого – определение необходимости торможения и степени воздействия на подвижный состав. Видеокамера или отдельная ПЗС-матрица обеспечивают непосредственную регистрацию цифрового изображения, которое передается в дальнейшем для обработки. В качестве изображения

может выступать либо двумерный массив зарегистрированных цифровых данных (для видеокамеры или ПЗС-матрицы), либо одномерный массив чисел, поступающих от ПЗС-линейки.

При измерении скорости движения железнодорожных вагонов на сортировочной горке была принята упрощенная схема системы измерения и передачи данных, включающая в себя следующие элементы:

- промышленную видеокамеру,
- ПЭВМ со специализированной платой ввода видеосигнала.

Основная содержательная часть обработки данных, полученных с видеокамеры, включает в себя решение следующих задач:

- определение наличия состава (вагона) на текущем изображении,
- определение величины смещения состава на смежной паре изображений,
- определение величины смещения состава в реальных координатах,
- определение скорости движения состава.

Представленные задачи отличаются как сложностью, так и методами решения. Первая задача может быть решена за счет использования существующих аппаратных средств сортировочной станции (короткие рельсовые цепи, бесконтактные магнитные педали, оптические датчики), поэтому в настоящей статье не рассматривается. Вторая задача требует привлечения методов обработки видеосигналов. Третья – геометрических моделей съемки, последняя – математического аппарата оценивания. Ниже рассмотрены основные элементы решения второй задачи, т.к. именно она определяет самую возможность (или невозможность) измерения скорости.

1. Физико-геометрическое описание работы системы

В качестве объекта рассмотрен небольшой прямоугольник площадью ΔS_1 , нормальный к оси объектива телевизионной камеры (далее для простоты – линза), помещенный на расстоянии $-a$ от нее (рис.2). Будем считать, что среда слева и справа от линзы имеет одинаковый показатель преломления $n=1$. Изображением ΔS_1 будет прямоугольник площадью ΔS_2 , расположенный на расстоянии b от линзы. В параксиальном приближении:

$$\frac{\Delta S_2}{\Delta S_1} = \left(\frac{b}{a}\right)^2 \equiv \beta^2. \quad (1)$$

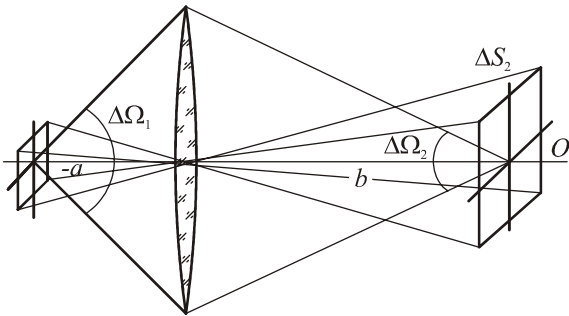


Рис. 2. Объемная геометрическая модель

Если яркость объекта равна L_v , то через линзу пройдет световой поток $\Delta\Phi_v$, значение которого определяется выражением:

$$\Delta\Phi_v = L_v \Delta S_2 \Delta\Omega_2, \quad (2)$$

где $\Delta\Omega_2$ - телесный угол, под которым линза видна из места расположения объекта. Если обозначить диаметр линзы через d , то:

$$\Delta\Omega_2 = \frac{\pi d^2}{4b^2}. \quad (3)$$

За счет поглощения света веществом линзы и частичного отражения на ее поверхности поток света за линзой $\Delta\Phi'_v$ может только уменьшиться, т.е.

$$\Delta\Phi'_v = k\Delta\Phi_v, \quad (4)$$

где k - коэффициент потерь (меньше единицы).

Поток за линзой будет распространяться в пределах телесного угла $\Delta\Omega_1$, под которым линза видна с площадки, являющейся изображением. Из рисунка видно, что

$$\Delta\Omega_1 = \frac{\pi d^2}{4a^2}. \quad (5)$$

Обозначим через L'_v яркость светового потока, формирующего изображение, выражение для потока $\Delta\Phi'_v$ можно записать следующим образом:

$$\Delta\Phi'_v = L'_v \frac{\pi d^2}{4a^2} \Delta S_1. \quad (6)$$

Или

$$L_v \frac{\pi d^2}{4b^2} \Delta S_2 = kL'_v \frac{\pi d^2}{4a^2} \Delta S_1. \quad (7)$$

$$L'_v = kL_v. \quad (8)$$

Таким образом, яркость изображения определяется только яркостью объекта и потерями в линзе. Она не может превышать яркость объекта. То есть можно в явном виде наблюдать искажающий фактор приема информации на первом этапе работы автоматизированной системы регистрации вагонов. Но, тем не менее, это не устранимое качество оптического приемника не является критическим.

При рассмотрении геометрического аспекта данной модели наибольший интерес представляет горизонтальное сечение пространственной модели относительно оптической оси, т.к. именно в плоскости, параллельной поверхности земли, происходит движение. Для нахождения коэффициентов пропорциональности рассмотрен следующий рисунок (рис. 3).

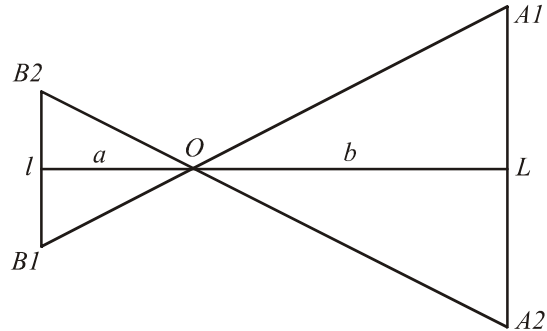


Рис. 3. Горизонтальное сечение

Как видно треугольники $\Delta A1A2O$ и $\Delta B1B2O$ подобны между собой, поэтому очевидно следующее равенство:

$$\frac{L}{l} = \frac{b}{a}. \quad (9)$$

Из выражения 9 вытекает следующее соотношение между L и l :

$$l = L \frac{a}{b}, \quad (10)$$

где l - ширина изображения в пикселях;

L - длина видимого участка железнодорожного пути, зависит от угла обзора камеры;

a - фокусное расстояние до ПЗС-матрицы;

b - расстояние до лицевой (передней) стороны вагона.

Обозначим через ∂l единичное значение длины изображения, т.е. сколько приходится на один пиксель единиц длины. Единица длины может быть установлена в зависимости от дальности съемки. Тогда получим:

$$\partial l = L \frac{a}{m \cdot b}, \quad (11)$$

где m - это ширина изображения в пикселях.

2. Алгоритмическое описание работы системы

Система включается в работу после того, как вагоны войдут в зону управления (рис. 4). Далее начинается съемка телевизионной камерой (устройство регистрации) с последующей передачей данных по каналам связи на ЭВМ. Принимая данные, вычислительная машина фиксирует информацию в ПЗУ (постоянно запоминающее устройство).

Из сформированного массива изображений выбирается последовательность кадров для анализа. Во время анализа производится определение изображения на цветность (черно-белое или цветное). Из преобразованных изображений формируются битовые матрицы. Далее производится вычитание одной матрицы из другой (предшествующей или после-

дующей, что определяется из условия направления движения вагонов). Таким образом, получается матрица межкадровой разности, которая затем преобразуется в изображение для дальнейшей обработки.

Полученное изображение преобразуется в бинарный вид. Затем оно подвергается фильтрации, при которой изображение очищается шумовых составляющих различного характера. На отфильтрованном изображении находится объект, удовлетворяющий заданным условиям. По нему находится смещение вагонов с последующим вычислением скорости движения вагонов.

После того, как произведено вычисление скорости движения вагонов, включается подсистема управлением торможением.

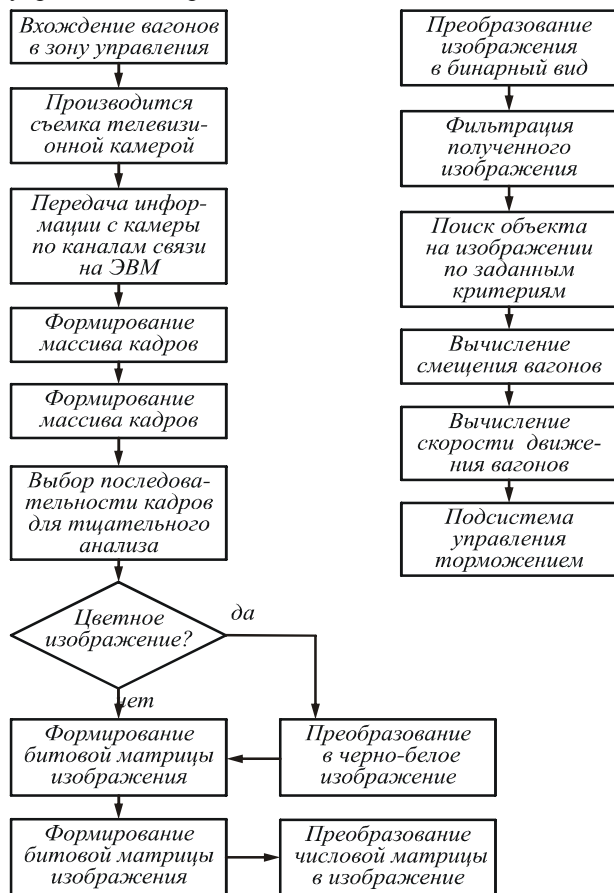


Рис. 4. Алгоритм работы системы

3. Определение величины смещения состава по смежной паре изображений

Движение состава происходит непрерывно во времени и в пространстве. Для сохранения непрерывности происходит квазинепрерывная съемка телевизионной камерой. Непрерывность получается за счет инертности человеческого глаза. Оптимальной скоростью следования считается 25 кадров/с, а время воспроизведения каждого кадра – 40мс. При съемке движения вагона (или другого транспортного средства) изображения двух смежных кадров n и $n+1$ будут отличаться (рис.5, 6). Это отличие позволило использовать метод межкадровой разности [1, 2] для определения величины смещения.

Суть данного метода заключается в нахождении разности между единичными элементами изображений n и $n+1$, т.е.:

$$f(x, y) = f_n(x, y) - f_{n+1}(x, y), \quad (12)$$

где $f_n(x, y)$ – значение цвета пикселя на кадре n с координатами (x, y) ;

$f_{n+1}(x, y)$ – значение цвета пикселя на кадре $n+1$ с координатами (x, y) .

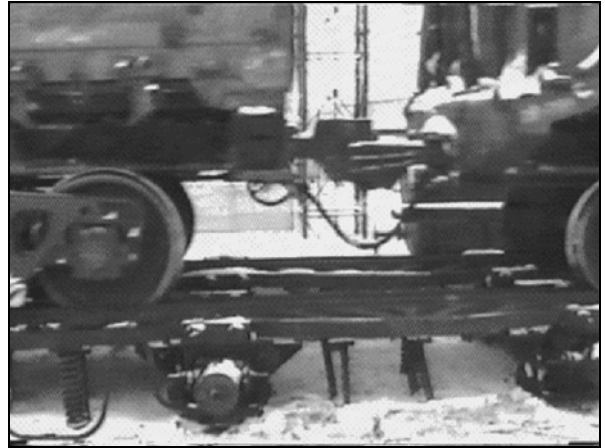


Рис. 5. Кадр n

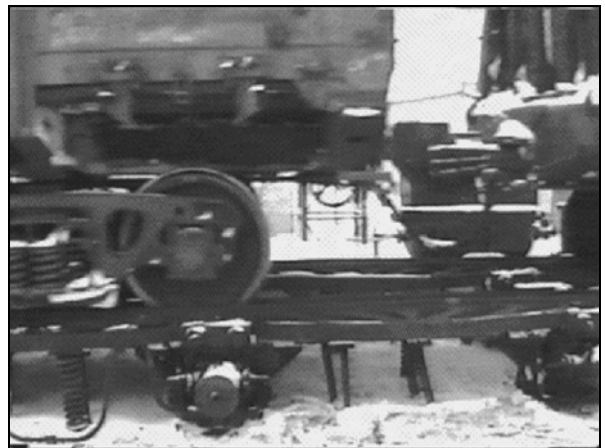


Рис. 6. Кадр $n+1$

Съемка камерой производится вблизи ж/д пути, что откладывает свой отпечаток на принимаемые изображения (рис. 5, 6). Поэтому одним из существенных факторов является качество снятых кадров. После передачи данных с телевизионной камеры на обрабатывающее устройство производится анализ на наличие объекта исследования. После обнаружения последовательности с необходимыми данными информационные кадры подвергаются обработке с помощью математического алгоритма, который производит поэлементное преобразование. Таким образом, происходит выделение объекта исследования из общей массы предметов, присутствующих на изображении.

В ходе исследований было выявлено, что разностный кадр несет в себе полезную информацию в неявном виде (рис. 7).

Область изображения, представляющая наибольший интерес, обладает спектром более светлых от-

тенков цвета в черно-белой градации. Такое спектральное распределение информации позволяет преобразовать разностный кадр в бинарный вид. Подобное преобразование существенно упрощает дальнейшую обработку. На полученном бинарном изображении присутствуют также шумовые составляющие. Поэтому, последовательно применяя ряд фильтров, можно восстановить картину, по которой производится дальнейший анализ. Во время анализа выявляется часть изображения, на которой присутствует объект, по параметрам которого определяется смещение вагонов, а затем, и скорость движения (рис. 8).

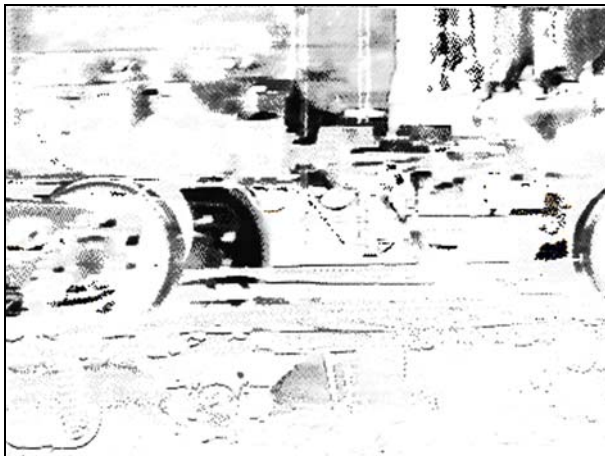


Рис. 7. Разность кадров n и $n+1$

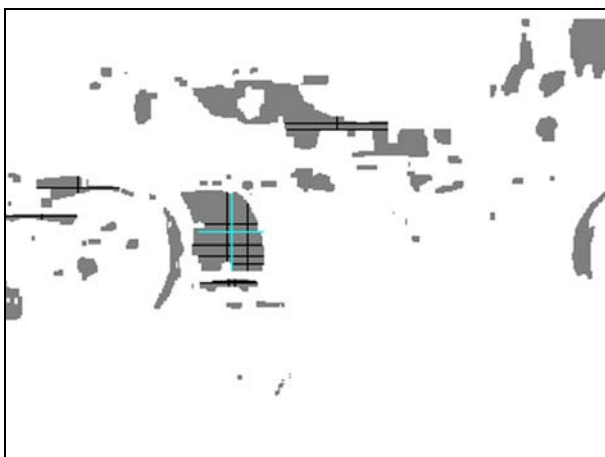


Рис.8. Поиск объекта с наибольшей площадью на межразностном кадре

4. Анализ межкадровой разности

При анализе, не трудно заметить, что на полученном изображении присутствует большое количество криволинейных объектов не нулевого уровня яркости. Среди них находятся объекты, несущие информацию о скорости движения вагона. Чтобы выделить из общей массы объектов наиболее информативный нужно произвести выборку, например, по максимальной площади объекта. Произвести выборку однозначным образом за один шаг практически невозможно. Поэтому следует разделить поиск максимальной площади на два этапа:

– поиск некоторого количества участков максимальной длины $x_{max i}$ и единичной высоты. Здесь под максимальной длиной участка следует понимать непрерывную последовательность единичных битов, ограниченных слева и справа нулевыми;

– поиск соответствующего количества участков максимальной высоты $y_{max i}$ и единичной длины. Причем следует понимать, что каждому $x_{max i}$ соответствует единственный $y_{max i}$, имеющий общую точку пересечения.

Таким образом, определяются линейные параметры объектов. Судить о значении скорости движения вагонов только по наибольшему смещению ошибочно, так как разработанный ряд фильтров не позволяет полностью избавиться от шумовых составляющих. Поэтому, чтобы избежать этого влияния, было решено использовать в качестве изображения смещения величину, равную интегральному значению ширины криволинейной трапеции наибольшей площади.

На рис. 8 показан процесс поиска объекта. Белыми линиями показаны $x_{max i}$ и $y_{max i}$ криволинейных областей, не удовлетворяющие условию наибольшей площади, а темно-серыми (цвет линии отличен от цвета объекта) – параметры ($x_{max i}$ и $y_{max i}$) области, отвечающей всем выше приведенным требованиям.

Поиск параметров необходим для оценки площади криволинейных объектов. Именно это значащее свойство (площадь) объекта и позволяет сделать вывод о скорости движения вагонов. Конечно, этот вывод будет косвенным, так как значение площади криволинейной трапеции имеет квадратичный характер, который нельзя сопоставлять значению скорости движения, имеющий линейный. Поэтому, чтобы перейти к линейной зависимости наиболее рационально получить интегральное значение ширины выбранной криволинейной трапеции l_{cp} . Как видно l_{cp} является изображением смещения вагонов s . Это расстояние, пройденное вагонами за интервал времени воспроизведения двух соседних кадров Δt . Поэтому скорость движения вагонов равна:

$$v = \frac{s}{\Delta t} . \quad (13)$$

Заключение

Разработанный метод обработки видеосигналов позволяет оценить изображение смещения вагонов за известный период следования кадров и, следовательно, измерить скорость движения вагонов при роспуске на сортировочной горке.

Литература

1. Методы компьютерной обработки изображений. Под ред. В.А. Сойфера. М.: Физмалит, 2004.
2. Еремин С.Н., Мальгин Л.Л., Михайлов А.Е., Царев В.А. Опыт использования технологии обработки изображений при проектировании интеллектуальных транспортных систем // Искусственный интеллект в XXI веке: Труды международного конгресса ICAI ' 2001. М.: Физмалит, 2001. Т. 2. с. 676 – 690.

Video signal processing for measuring the speed of railway cars on a gravity hump

N.N.Vasin¹, V.Y.Kurinsky¹

¹Volga State Academy of Telecommunications and Informatics

Abstract:

The paper considers a video signal processing method for measuring the speed of railway cars when splitting up of train on a gravity hump. The developed algorithms are based on geometric models and mathematical methods of image processing. The paper provides the description of the methods of model formation, the methods for determining the displacement of the train in the plane of the recorder (CCD matrix of a digital video camera), the functioning of the developed method.

Keywords: Video signal processing, speed of railway cars, gravity hump, geometric models, mathematical methods, image processing, CCD matrix, digital video camera.

Citation: Vasin NN, Kurinsky VY. Video signal processing for measuring the speed of railway cars on a gravity hump. *Computer Optics* 2005; 27: 185-188.

References:

- [1] Soifer VA, ed. *Methods for computer design of diffractive optical elements*. New York: John Willey and Sons Inc; 2002. ISBN: 978-0-471-09533-0.
- [2] Eremin SN, Malygin LL, Mikhailov AN, Tsarev VA. Experience in using image processing technologies in design of intelligent transportation systems [In Russian]. *Proc Int Congress Artificial Intelligence in the 21st Century ICAI 2001*; 2: 676-690.