



## БЕСКОНТАКТНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

В. А. КОЛЯДА

*Разработаны аппаратные и программные средства двухканальной сенсорной системы для автоматической оценки параметров профиля железнодорожных рельсов. Предложены конструкционные решения для сенсорного блока системы, в который входят два отдельных измерительных оптических канала. Разработана методика калибровки сенсорного блока с помощью плоского шаблона и построено математическое обеспечение для реконструкции профиля рельсов по двум цифровым изображениям.*

*Hardware and software of a two-channel sensor system for automatic evaluation of railway rail profile were developed. Design solutions were proposed for the system sensor block, which includes two separate measurement optical channels. A procedure is developed for calibration of the sensor block using a flat template, and software has been constructed for rail profile reconstruction from two digital images.*

Для обеспечения безопасности движения поездов необходим строгий контроль геометрических параметров железнодорожных рельсов. Одной из основных задач, стоящих перед администрациями железных дорог, является организация систематического измерения параметров пути. Результаты измерений позволяют количественно оценивать степень ухудшения состояния пути, оптимизировать графики текущего содержания и ремонта, устанавливать максимально допустимую скорость движения поездов на конкретных участках. В комплекс мероприятий по определению состояния рельсов входит измерение геометрических параметров каждого рельса отдельно и контроль смещения одного рельса относительно другого. Для количественного измерения параметров выполняется моделирование рельсовых нитей в виде линий в трехмерном пространстве с дальнейшим проецированием этих линий на двумерные плоскости. После завершения измерений каждый результат, представляющий интерес или вызывающий тревогу, локализуется по его фактическому местоположению.

В прошедшем столетии получили развитие разнообразные системы измерения геометрических параметров пути, в частности, с использованием вагонов-путеизмерителей. В этих системах наиболее часто используются механические датчики с подвижными контактами, которые находятся в постоянном соприкосновении с рельсами. По величине смещения контактов определяются геометрические параметры пути. Такие системы представляют собой существенный прогресс по сравнению с ручными измерительными средствами. Однако системы, в которых используются контактные датчики, имеют один общий суще-

ственный недостаток — они не могут обеспечить достаточную точность измерений при движении вагона-путеизмерителя с высокой скоростью, поскольку в этих условиях не сохраняется постоянный контакт датчиков с рельсами. Поэтому для измерения параметров геометрии пути целесообразно использовать бесконтактные датчики. В настоящее время в мире активно ведутся разработки, а также внедрение оптических систем для измерения геометрических параметров рельсов в процессе движения вагона-путеизмерителя [1].

Для исследования процесса бесконтактного измерения геометрических параметров железнодорожных рельсов в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработан макет двухканальной сенсорной системы, схема которой представлена на рис. 1. На прямоугольном основании закреплены две консоли (для лазерных генераторов световой плоскости и видеокамер). На торцах каждой консоли имеются цанговые зажимы, надежно фиксирующие оптические узлы. Консоли и зажимы обеспечивают необходимую подвижность оптических узлов при юстировке. Лазерные генераторы световой плоскости и видеокамеры находятся в герметичных кожухах с иллюминаторами, которые обеспечивают механическую защиту важных оптических компонентов. Источником излучения лазерного генератора световой плоскости является полупроводниковый лазерный диод. Лазерный луч с помощью цилиндрической линзы «разворачивается» в световую плоскость, которая при пересечении с объектом образует на его поверхности узкую световую полосу, повторяющую рельеф поверхности. В качестве устройств сбора видеоданных используются черно-белые видеокамеры с ПЗС-матрицей. На видеокамерах установлены специальные объективы, которые дают воз-



возможность изменять фокусное расстояние и, соответственно, поле зрения видеокамер в широком диапазоне. Использование таких объективов позволяет получить четкое изображение необходимого участка объекта при любом из возможных положений видеокамеры. Перед объективами установлены светофильтры, согласованные с длиной волны излучения лазерных диодов, используемых в лазерных генераторах световой плоскости. Светофильтры предназначены для улучшения отношения сигнал-шум путем подавления излучения, которое отличается по длине волны от излучения лазерных диодов. Таким образом, сенсорный блок макета телевизионной системы представляет собой два независимых оптических канала, работающих по триангуляционному принципу. Видеосигналы, получаемые от двух видеокамер, представляют собой исходные данные для реконструкции параметров профиля рельса. В качестве объектов измерения взяты образцы участков железнодорожных рельсов с разными типами и степенью износа.

Юстировка оптических компонентов сенсорного блока включает в себя два важных момента: регулировку взаимного расположения лазерных генераторов световой плоскости для получения максимально возможного совпадения плоскостей их излучения и регулировку ориентации видеокамер и настройку объективов таким образом, чтобы одна видеокамера «видела» верхнюю и левую часть головки рельса, вторая — верхнюю и правую часть. При этом световая полоса, соответствующая контуру рельса, должна занимать не менее 80 % общего масштаба изображения для каждой видеокамеры.

Одной из наиболее важных задач, которую необходимо решить для построения полнофункциональной измерительной оптической системы, является калибровка сенсорного блока. Для данного случая разработана методика калибровки двухканальной телевизионной системы с использованием плоского шаблона, на поверхность которого нанесена сетка с фиксированным размером ячеек. Калибровку сенсорного блока системы можно рассматривать в виде последовательности отдельных этапов. На подготовительном плоский шаблон устанавливается в рабочую зону сенсорного блока. Далее выполняется захват двух изображений сетки шаблона от разных видеокамер с помощью устройства видеозахвата, предназначенного для преобразования аналоговых видеосигналов в цифровые изображения. На следующем этапе выполняется распознавание горизонтальных и вертикальных линий сетки на захваченных изображениях. Здесь решаются задачи фильтрации, бинаризации, сегментации цифровых изображений и группирования выделенных объектов с использованием классических методов и алгоритмов [2, 3]. Для фильтрации изображений используется одномерный фильтр, база которого

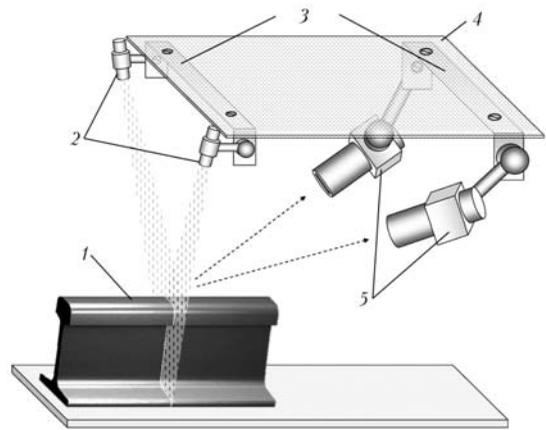


Рис. 1. Схема макета сенсорной системы для экспериментального исследования процесса измерения геометрических параметров рельсов: 1 — объект измерения; 2 — лазерные генераторы световой плоскости; 3 — консоли; 4 — основание; 5 — видеокамеры

согласована со средней толщиной линий сетки на изображениях. Бинаризация для каждого пикселя изображения выполняется на основе порогового уровня, вычисляемого по формуле:

$$\lambda = Mf + Dfk,$$

где  $Mf$ ,  $Df$  — соответственно оценки математического ожидания и дисперсии яркости изображения;  $k$  — коэффициент бинаризации (принято  $k = 2,5$ ).

Задача сегментации заключается в символьном описании подмножеств или объектов. Связное подмножество — это подмножество пикселей, у каждого пикселя которого есть хотя бы один сосед, принадлежащий данному множеству. Для данного случая сегментация изображений выполняется следующим образом. Бинарное изображение обрабатывается в порядке построчной развертки, т. е. слева направо и сверху вниз. При этом обработка крайних пикселей изображения не проводится. Если яркость пикселя  $f(x, y) = 0$ , то осуществляется переход к следующему пикселю изображения. Если  $f(x, y) = 1$ , то выполняется анализ принадлежности пикселя к объектам изображения. В результате последовательного обхода всех пикселей изображения формируется список объектов. При решении задачи группировки для каждого из полученных на предыдущем этапе объектов подсчитывается количество входящих в него пикселей (площадь объекта). Объекты с малой площадью удаляются из списка. Затем для каждого из оставшихся объектов рассчитываются параметры аппроксимирующей прямой (предполагается, что все объекты имеют форму, близкую к прямой линии) и выполняется анализ объектов на принадлежность общей прямой, т. е. объекты, лежащие на общей прямой или «рядом» с ней, объединяются в группу. Для каждой группы объектов вычисляется аппроксимирующая пря-

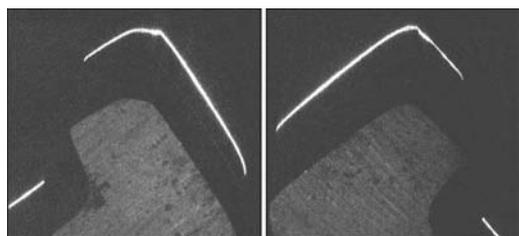


Рис. 2. Изображения от видеокамер сенсорного блока

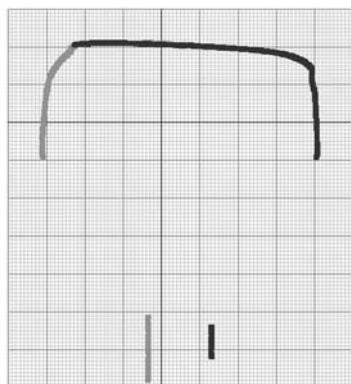


Рис. 3. Результат оценки профиля головки рельса

мая. Найденные точки пересечения горизонтальных и вертикальных аппроксимирующих прямых заносятся в список узлов сетки. Точки из списка узлов разбиваются на группы по девять соседних точек. Для каждой группы из девяти точек на пересечении прямых, проведенных через точки группы, вычисляется новая группа из девяти точек, которая добавляется в список узлов сетки и т. д. Рекурсивное разбиение выполняется до тех пор, пока количество найденных узлов сетки не будет достаточно близким к количеству пикселей на изображении. Следует отметить, что координаты узлов сетки выражены в миллиметрах, поскольку реальный размер ячеек сетки на калибровочном шаблоне известен заранее. Координаты всех точек из списка узлов сетки заносятся в двумерный массив, размер которого соответствует размеру обрабатываемого кадра. Причем в каждый элемент массива записывается та точка, расстояние от которой до пикселя, преобразование которого она представляет, минимально.

Таким образом, в результате калибровки двухканальной сенсорной системы получаем две калибровочные матрицы (для правого и левого канала), которые позволяют осуществлять преобразование из систем координат изображений в опорную систему координат, которая соответствует плоскости калибровочного шаблона. Матрицы, полученные в результате калибровки сенсорного блока, используются математическим обеспечением, предназначенным для оценки параметров

профиля рельсов. Математическое обеспечение осуществляет захват и обработку цифровых изображений, получаемых от двух видеокамер сенсорного блока (рис. 2). При обработке выполняется согласованная фильтрация каждого изображения для выделения контура, соответствующего световой полосе, которая описывает участок профиля объекта измерения. Выделенные контуры представляют собой два массива, содержащие дискретные координаты точек контуров для двух изображений. Также выполняется статистическая обработка полученных массивов, которая позволяет исключить из дальнейшего рассмотрения «ложные» точки контура. Возникновение ложных точек контура связано с возможным наличием локальными засветками рабочей поверхности рельсов от внешних источников, которые не полностью подавляются светофильтрами, расположенными перед объективами видеокамер. Для каждой точки найденных контуров из калибровочных матриц выбираются соответствующие метрические значения координат. Затем полученные значения координат объединяются в один массив, характеризующий геометрические размеры профиля исследуемого объекта. На рис. 3 показан результат компьютерной реконструкции профиля головки рельса с помощью двухканальной сенсорной системы. Участки профиля, полученные от разных видеокамер, показаны в виде сегментов с разной интенсивностью цвета. Получено практически полное совпадение верхних частей головки рельса на общем изображении профиля, что подтверждает корректность разработанной методики калибровки сенсорного блока системы. Также разработан итерационный алгоритм сравнения измеренного профиля рельса с эталоном, позволяющий рассчитывать значения параметров, характеризующих износ головки рельса.

Разработанные аппаратные и программные средства макета двухканальной сенсорной системы и результаты экспериментальных исследований положены в основу создания опытного образца системы автоматической диагностики геометрических параметров железнодорожных путей. В настоящее время работы по созданию опытного образца системы находятся на стадии предварительных испытаний.

1. Zywił J., Oberlechner G. New Rail Measurement System // Intern. Railway J. — 2001. — № 9. — P. 31–35.
2. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых // Уч. пособие. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. — 480 с.
3. Прэнтл У. Цифровая обработка изображений. — М.: Мир, 1982. — 155 с.