

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ СКАНЕРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ РЕЛЬСОВ

Н.Н. Васин¹, Р.Р. Дязитдинов¹

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), Самара, Россия

Аннотация

В статье представлены алгоритмы совмещения профиля измеряемого рельса с профилем неизношенного рельса. Работа алгоритмов основана на вычислении параметров преобразования, связывающего между собой два профиля, один из которых задан совокупностью точек, а второй – уравнениями линий. Алгоритмы предназначены для измерения износов рельса по данным триангуляционных сканеров на вагоне-путеизмерителе.

Ключевые слова: триангуляционный сканер, неизношенный рельс, измеренный рельс, совмещение, путеизмеритель, профиль, итерационный алгоритм.

Цитирование: Васин, Н.Н. Обработка данных оптических триангуляционных сканеров для измерения профилей рельсов / Н.Н. Васин, Р.Р. Дязитдинов // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 6. – С. 1054-1061. – DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-6-1054-1061.

Введение

Обеспечение безопасности движения на железной дороге является одной из важнейших задач. Контроль за состоянием пути и объектов железнодорожной инфраструктуры осуществляется с помощью специальных измерительных систем. Вагоны, оснащенные такими системами, называются путеизмерителями.

Современные путеизмерители строятся на базе оптических триангуляционных сканеров, которые измеряют профиль рельса. С помощью анализа профиля определяются точки, которые используются для расчета параметров рельсовой колеи (рис. 1).

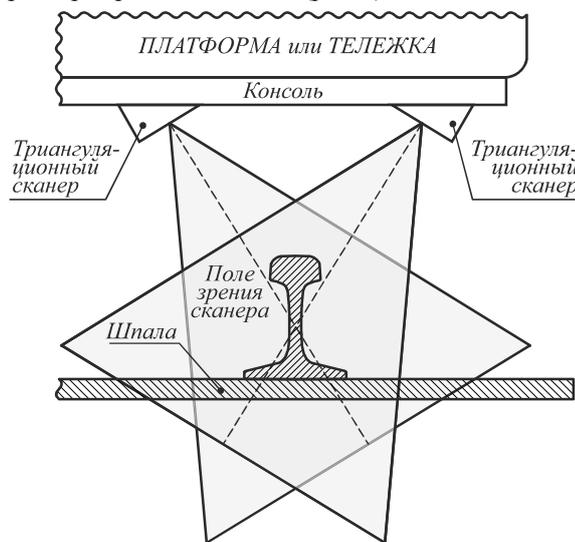


Рис. 1. Схема расположения триангуляционных сканеров относительно рельса

Одним из контролируемых параметров пути является износ рельса. На российской железной дороге (РЖД) рассматриваются два основных износа: боковой (горизонтальный) и вертикальный износ, которые определяются путем сравнения измеренного профиля и профиля неизношенного рельса (рис. 2а).

Тип рельса (на РЖД практически повсеместно используется рельс маркировки Р65) определяет высоту h и ширину головки рельса b . По измеренному профилю рельса вычисляется высота головки h' и прогнозируется положение верхней точки. Прямая l' параллельна пря-

мой l . Прямая l' располагается на 13 мм ниже верхней точки. Точки пересечения l' с профилем определяют расстояние b' .

Вертикальный износ равен разности $h-h'$, а боковой износ – $b-b'$ (рис. 2б).

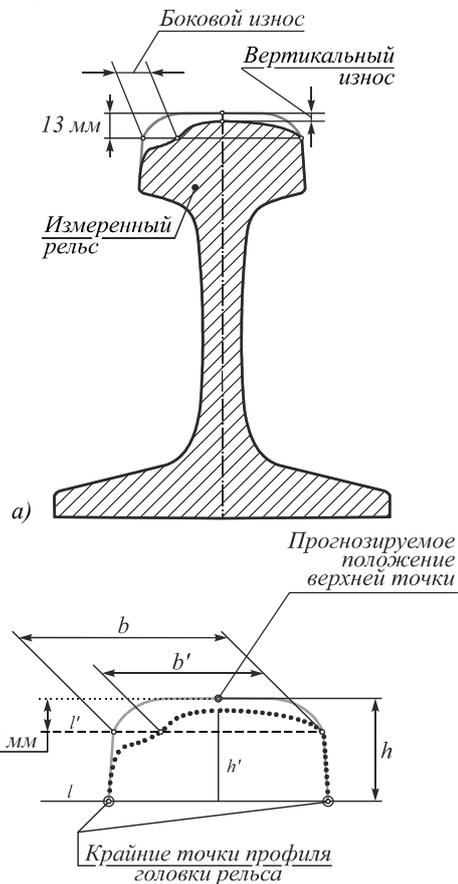


Рис. 2. Определение износов рельса

Этот способ измерения имеет достоинство – простота вычислений. Однако он не лишен ряда недостатков с точки зрения измерений:

– низкая точность измерений, так как крайние точки головки рельса могут не фиксироваться с необходимой точностью, что напрямую влияет на измеренные параметры (рис. 3а);

– способ измерения не подходит для рельсов, изношенных не только с внутренней стороны, но и с внешней (так называемые «переложенные рельсы»); боковой износ будет равен сумме боковых износов с внутренней и внешней стороны колеи (рис. 3б).

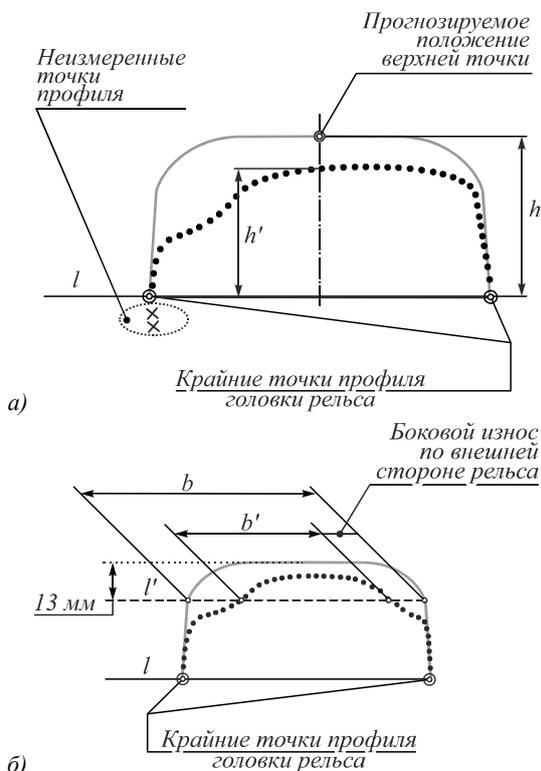


Рис. 3. Ошибки вычисления износов

Кроме методической составляющей, существует еще и технико-эксплуатационная проблема. Для формирования профиля рельса используется два сканера. Это приводит к усложнению конструкции измерительной системы, а также снижает ее надежность: измерения не будут производиться, если отсутствуют данные хотя бы от одного из профильных сканеров.

Параметр надежности является одной из основных характеристик путеизмерителей.

Современные профильные сканеры обладают широким полем зрения, что позволяет получить профиль не только головки рельса, но и его шейки и подошвы. Эти элементы, в отличие от головки рельса, не подвергаются износу со стороны колесной пары. По ним можно провести совмещение измеренного профиля рельса с профилем неизношенного и определить износы.

В статье представлено два алгоритма для определения параметров совмещения, которые предназначены для измерительных систем, оснащенных только одним триангуляционным сканером (примеч.: для измерения износов двух бортов необходимо два сканера вместо четырех).

Существующие работы в области обработки оптических сигналов триангуляционных сканеров

Работы по обработке профилей (объектов, представленных совокупностью точек), полученных опти-

ческими триангуляционными сканерами, связаны с определением матрицы перехода [1] при заданных двух наборах точек, связанных между собой смещением, углом поворота и масштабными преобразованиями.

Одной из известнейших работ по определению параметров кривых второго порядка (эллипсов, парабол, гипербол) является работа [2]. Эта статья положила начало целому циклу работ разных исследователей [3–7].

В представленной работе рассматривается задача совмещения данных на плоскости, часть которых – это набор точек, а часть – совокупность уравнений, описывающих сложный контур. Эта работа является продолжением исследований, результаты которых описаны в статьях [8, 9].

Описание решаемой задачи

Профиль неизношенного рельса может быть описан отрезками прямых и дуг окружностей (рис. 4) [10].

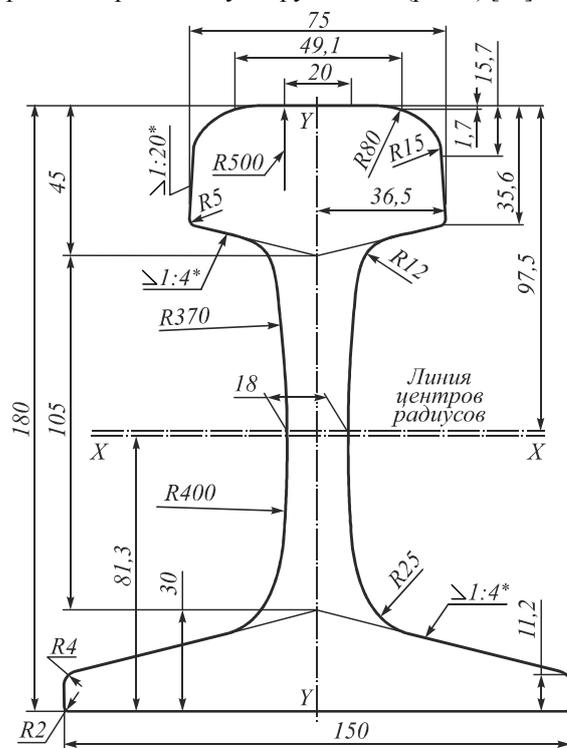


Рис. 4. Профиль рельса P65 согласно ГОСТ 51685-2013

Задачу совмещения измеренного с помощью триангуляционного сканера профиля с профилем неизношенного рельса можно сформулировать различными способами.

Пусть будут даны точки на плоскости, соответствующие измеренному профилю. Точки образуют две совокупности с координатами (p_i, r_i) и (w_j, v_j) , лежащие на различных отрезках прямых.

Совокупность точек (p_i, r_i) соответствует уравнению $y = k_1x + b_1$ эталонного профиля, а (w_j, v_j) – уравнению $y = k_2x + b_2$.

Задача совмещения – найти такое преобразование, после которого точки (p_i, r_i) будут лежать на прямой $y = k_1x + b_1$, а (w_j, v_j) – на $y = k_2x + b_2$ (рис. 5).

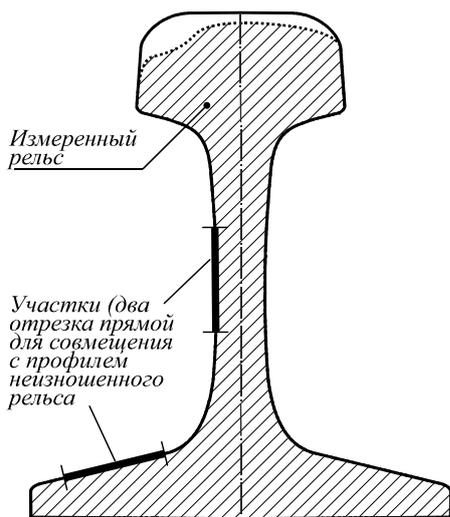


Рис. 5. Совмещение профиля по отрезкам прямых

Второй способ совмещения основан на предположении, что совокупность точек (p_i, r_i) лежит на отрезке прямой $y = kx + b$, а совокупность точек (w_j, v_j) – на дуге окружности, описываемой уравнением $x^2 + y^2 = R^2$, где R – радиус окружности (рис. 6).

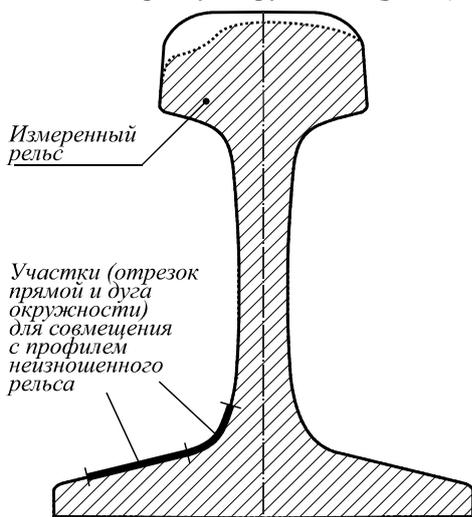


Рис. 6. Совмещение профиля по отрезку прямой и дуге окружности

Для обоих случаев были разработаны алгоритмы совмещения.

Разбиение множества измеренных точек на подмножества

Для разработки алгоритмов необходимо, чтобы множество точек, измеренных триангуляционным сканером, было разбито на подмножества.

Для первого алгоритма необходимо выделить два участка с отрезками прямых, один из которых лежит на подошве, а второй – на шейке рельса. Для второго алгоритма – отрезок прямой, лежащей на подошве, и дугу окружности, лежащей на нижней выкружке рельса (примеч.: выкружка – это вогнутый архитектурный облом, представляющий по очертанию четверть окружности или отрезок кривой, близкой к этой форме [11]).

На рис. 7 показан профиль измеренного рельса в системе координат триангуляционного сканера. Для каждой точки профиля вычисляется значение производной и кривизны с использованием соседних точек.

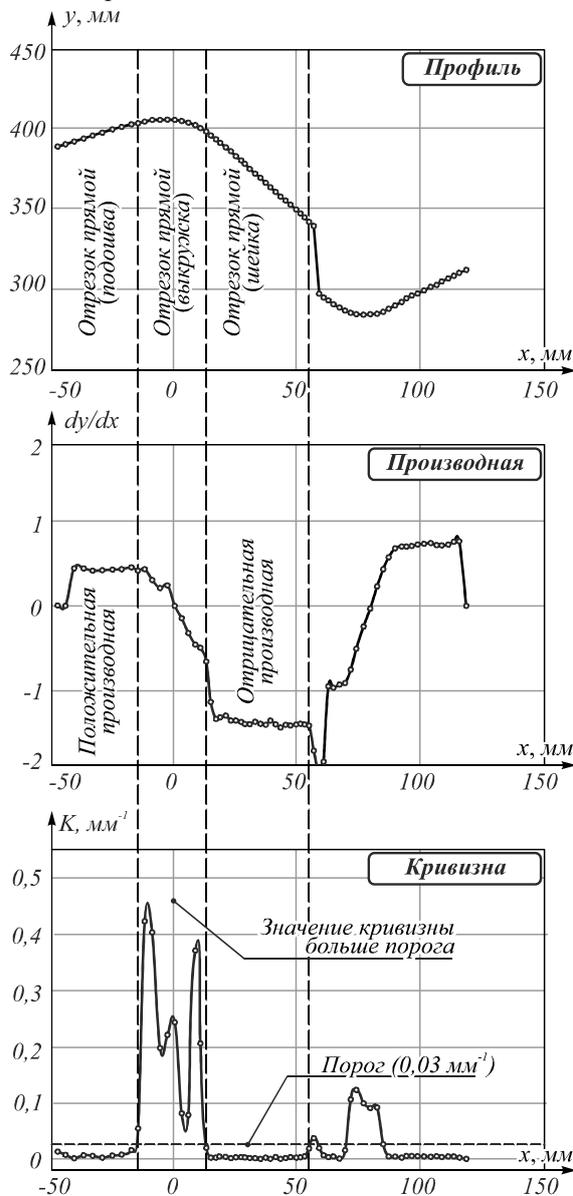


Рис. 7. Разбиение множества точек профиля на подмножества

Отрезок прямой, лежащей на подошве рельса, имеет положительную, а на шейке рельса – отрицательную производную. Кривизна на этих участках близка к нулю, в отличие от дуги окружности, лежащей на выкружке рельса.

Совмещение с профилем, заданным совокупностью прямых

Согласно вышеописанному, можно записать:

$$\begin{pmatrix} p_i \\ r_i \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & x_0 \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix}; \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} w_j \\ v_j \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & x0 \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & y0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_j \\ y_j \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $y_i = k_1 x_i + b_1$, $y_j = k_2 x_j + b_2$.

Рассмотрим (1), из него можно выразить:

$$x_i = \cos(\alpha)(p_i - x0) + \sin(\alpha)(r_i - y0), \quad (3)$$

$$y_i = -\sin(\alpha)(p_i - x0) + \cos(\alpha)(r_i - y0). \quad (4)$$

Перепишем эту систему уравнений, заменив $A = \cos(\alpha)$, $B = \sin(\alpha)$, $A^2 + B^2 = 1$.

$$x_i = A(p_i - x0) + B(r_i - y0), \quad (5)$$

$$y_i = -B(p_i - x0) + A(r_i - y0). \quad (6)$$

Подставим найденные выражения в уравнение прямой $y_i - k_1 x_i + b_1 = 0$, и для определения неизвестных параметров $(\alpha, x0, y0)$ воспользуемся методом наименьших квадратов:

$$f(A, B, x0, y0) = \sum_{i=1}^n \left\{ \left[-B(p_i - x0) + A(r_i - y0) \right] - k_1 \left[A(p_i - x0) + B(r_i - y0) \right] + b_1 \right\}^2 \rightarrow \min, \quad (7)$$

где n – количество точек.

$$\frac{\partial f(A, B, x0, y0)}{\partial B} = N1 \cdot B + M1 = 0,$$

$$\frac{\partial f(A, B, x0, y0)}{\partial x0} = N2 \cdot x0 + M2 = 0,$$

$$\frac{\partial f(A, B, x0, y0)}{\partial y0} = N3 \cdot y0 + M3 = 0,$$

$$A = \sqrt{1 - B^2},$$

$$N1 = 2 \sum_{i=1}^n (p_i - x0 + k_1 (r_i - y0)) \times$$

$$\times (b_1 - A(r_i - y0) + A \cdot k_1 (p_i - x0)),$$

$$M1 = 2 \sum_{i=1}^n (p_i - x0 + k_1 (r_i - y0))^2,$$

$$M2 = 2 \sum_{i=1}^n (B + A \cdot k_1)^2,$$

$$N3 = 2 \sum_{i=1}^n (A - B \cdot k_1) \cdot (b_1 - A \cdot r_i + B(p_i - x0) +$$

$$+ k(B \cdot r_i + A(p_i - x0))),$$

$$M2 = 2 \sum_{i=1}^n (A - B \cdot k_1)^2.$$

Таким образом, система уравнений запишется как:

$$\begin{cases} N1 \cdot B + M1 = 0; \\ N2 \cdot x0 + M2 = 0; \\ N3 \cdot y0 + M3 = 0; \\ A = \sqrt{1 - B^2}. \end{cases} \quad (8)$$

При выводе этой системы учитывались только точки (p_i, r_i) . С учетом (w_j, v_j) , выражение (7) переписывается как:

$$f(A, B, x0, y0) = \sum_{i=1}^n \left\{ \left[-B(p_i - x0) + A(r_i - y0) \right] - k_1 \left[A(p_i - x0) + B(r_i - y0) \right] + b_1 \right\} + \sum_{j=1}^m \left\{ \left[-B(w_j - x0) + A(v_j - y0) \right] - k_2 \left[A(w_j - x0) + B(v_j - y0) \right] + b_2 \right\} \rightarrow \min. \quad (9)$$

Соответственно выражение для коэффициента:

$$N1 = 2 \sum_{i=1}^n (p_i - x0 + k_1 (r_i - y0)) \times (b_1 - A(r_i - y0) + A \cdot k_1 (p_i - x0)) + 2 \sum_{j=1}^m (w_j - x0 + k_2 (v_j - y0)) \times (b_2 - A(v_j - y0) + A \cdot k_2 (w_j - x0)).$$

Аналогичным образом изменятся формулы для $M1, N2$ и т.д.

Система нелинейных уравнений (8) решается итерационным способом, а алгоритм оценивания имеет следующий вид:

1. Задается первоначальное приближение:

$$x0, y0, B, A = \sqrt{1 - B^2}.$$

2. По координатам (p_i, r_i) , (w_j, v_j) и параметрам (k_1, b_1) , (k_2, b_2) , $(A, B, x0, y0)$ рассчитываются $N1, N2, N3, M1, M2, M3$.

3. Рассчитывается:

$$B' = -\frac{M1}{N1}, \quad x0' = -\frac{M2}{N2}, \quad y0' = -\frac{M3}{N3}, \quad A' = \sqrt{1 - (B')^2}.$$

4. Присваиваем:

$$A = A', \quad B = B', \quad x0 = x0', \quad y0 = y0', \quad \alpha = \arcsin(B).$$

5. Переходим к шагу №2.

Количество переходов от шага №2 к шагу №5 определяет количество итераций.

Аналогично тому, как алгоритм проводит обработку двух совокупностей точек, он может быть расширен на три и большее количество.

Совмещение с профилем, заданным прямой и окружностью

С целью упрощения вывода алгоритма центр окружности был помещен в точку $(0, 0)$. В этом случае уравнение окружности запишется как $x^2 + y^2 = R^2$, где R – радиус окружности.

Подставим в уравнение окружности выражения:

$$x_i = \cos(\alpha)(w_i - x0) + \sin(\alpha)(v_i - y0), \quad (10)$$

$$y_i = -\sin(\alpha)(w_i - x0) + \cos(\alpha)(v_i - y0). \quad (11)$$

После раскрытия скобок и упрощений в уравнении будет отсутствовать параметр α :

$$(w_j - x_0)^2 + (v_j - y_0)^2 = R^2. \tag{12}$$

Отметим также еще одну особенность в сравнении с предыдущим алгоритмом. Все три параметра x_0 , y_0 и α в первом алгоритме были связаны между собой, поэтому параметры нельзя оценивать по отдельности друг от друга.

В рассматриваемом же случае возможна только их раздельная оценка, так как уравнение окружности (формула 12) не зависит от угла α , а уравнение прямой не связано с параметрами x_0 , y_0 (можно найти бесконечное количество решений, связывающих между собой x_0 , y_0 и α).

Соответственно, по уравнению окружности проводится оценка x_0 , y_0 , а при фиксированных значениях x_0 , y_0 по уравнению прямой проводится оценка угла поворота α .

Для вывода выражения для оценки x_0 , y_0 рассмотрим следующий пример. Для оценки центра окружности достаточно иметь три точки: (w_1, v_1) , (w_2, v_2) , (w_3, v_3) . Подставим их в выражение (12) и запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} (w_1 - x_0)^2 + (v_1 - y_0)^2 = R^2; \\ (w_2 - x_0)^2 + (v_2 - y_0)^2 = R^2; \\ (w_3 - x_0)^2 + (v_3 - y_0)^2 = R^2. \end{cases} \tag{13}$$

Приравняем уравнение 1 и 2, 1 и 3 системы (13), получим:

$$\begin{cases} (w_1 - x_0)^2 + (v_1 - y_0)^2 = (w_2 - x_0)^2 + (v_2 - y_0)^2; \\ (w_1 - x_0)^2 + (v_1 - y_0)^2 = (w_3 - x_0)^2 + (v_3 - y_0)^2. \end{cases} \tag{14}$$

Приведем выражение (14) к эквивалентному виду:

$$\begin{cases} 2 \cdot x_0(w_1 - w_2) + 2 \cdot y_0(v_1 - v_2) = \\ = (w_1^2 - w_2^2) + (v_1^2 - v_2^2); \\ 2 \cdot x_0(w_1 - w_3) + 2 \cdot y_0(v_1 - v_3) = \\ = (w_1^2 - w_3^2) + (v_1^2 - v_3^2). \end{cases} \tag{15}$$

По методу наименьших квадратов можно записать:

$$g(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N (x_0 \cdot dw_{ij} + y_0 \cdot dv_{ij} + dwv_{ij})^2, \tag{16}$$

где $dw_{ij} = w_i - w_j$, $dv_{ij} = v_i - v_j$,

$$dwv_{ij} = 0,5 \cdot [(w_i^2 - w_j^2) + (v_i^2 - v_j^2)],$$

N – количество точек.

Решение выражения (16):

$$\begin{cases} \frac{\partial g(x_0, y_0)}{\partial x_0} = 0, \\ \frac{\partial g(x_0, y_0)}{\partial y_0} = 0, \end{cases} \begin{cases} x_0 \cdot A11 + y_0 \cdot A12 = B1, \\ x_0 \cdot A21 + y_0 \cdot A22 = B2; \end{cases}$$

$$x_0 = \frac{B1 \cdot A22 - B2 \cdot A21}{A11 \cdot A22 + A12 \cdot A21}, \tag{17}$$

$$y_0 = \frac{B2 \cdot A11 - B1 \cdot A12}{A11 \cdot A22 + A12 \cdot A21}, \tag{18}$$

где:

$$A11 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N dw_{ij}^2, \quad A12 = A21 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N dw_{ij} dv_{ij},$$

$$A22 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N dv_{ij}^2, \quad B1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N dw_{ij} \cdot dwv_{ij},$$

$$B2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N dv_{ij} \cdot dwv_{ij}.$$

При известных значениях (x_0, y_0) можно оценить угол поворота α . Запишем уравнение, связывающее между собой координаты точек (p_i, r_i) и прямую $y = kx + b$.

$$\begin{aligned} &k [\cos(\alpha)(p_i - x_0) + \sin(\alpha)(r_i - y_0)] + b - \\ &- [-\sin(\alpha)(p_i - x_0) + \cos(\alpha)(r_i - y_0)] = 0. \end{aligned}$$

Введем обозначение: $cp_i = p_i - x_0$, $cr_i = r_i - y_0$.

А тригонометрические функции разложим в ряд:

$$\cos(\alpha) \approx 1 - 0,5\alpha^2, \quad \sin(\alpha) \approx \alpha.$$

Получим:

$$\begin{aligned} &k [(1 - 0,5\alpha^2) \cdot cp_i + \alpha \cdot cr_i] + b - \\ &- [-\alpha \cdot cp_i + (1 - 0,5\alpha^2) \cdot cr_i] = 0. \end{aligned}$$

По методу наименьших квадратов получим:

$$\begin{aligned} g(\alpha) = \sum_{i=1}^M \{ &k [(1 - 0,5\alpha^2) \cdot cp_i + \alpha \cdot cr_i] + b - \\ &- [-\alpha \cdot cp_i + (1 - 0,5\alpha^2) \cdot cr_i] \}^2 \rightarrow \min, \end{aligned} \tag{19}$$

где M – количество точек.

Решение уравнения (19):

$$\frac{\partial g(\alpha)}{\partial \alpha} = 0, \quad L0 + L1 \cdot \alpha + L2 \cdot \alpha^2 + L3 \cdot \alpha^3 = 0, \tag{20}$$

$$\text{где } L0 = 2 \sum_{i=1}^M (cp_i + cr_i \cdot k) \cdot (b - cr_i + cp_i \cdot k), \tag{21}$$

$$\begin{aligned} L1 = 2 \sum_{i=1}^M (cr_i + cp_i \cdot k) \cdot (b - cr_i + cp_i \cdot k) + \\ + (cp_i + cr_i \cdot k)^2, \end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned} L2 = 2 \sum_{i=1}^M \{ (cp_i + cr_i \cdot k) \cdot (cr_i - cp_i \cdot k) + \\ + \left(\frac{cr_i}{2} + \frac{cp_i}{2} \cdot k \right) \cdot (cp_i + cr_i \cdot k) \}, \end{aligned} \tag{23}$$

$$L3 = 2 \sum_{i=1}^M \left(\frac{cr_i}{2} - \frac{cp_i \cdot k}{2} \right) \cdot (cr_i - cp_i \cdot k). \tag{24}$$

Уравнение третьей степени решается в радикалах. Только один из корней будет являться вещественным числом, а два других – комплексными числами.

Если угол более 10° , то необходима итерационная процедура.

Итоговый алгоритм для оценки угла α выглядит следующим образом:

1. Выбирается первоначальное значение угла поворота α_k , $k=0$.

2. Рассчитывается матрица поворота:

$$M = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_k) & \sin(\alpha_k) \\ -\sin(\alpha_k) & \cos(\alpha_k) \end{bmatrix}.$$

3. Рассчитываются координаты точек с учетом поворота:

$$\begin{bmatrix} cp_i \\ cr_i \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} p_i - x_0 \\ r_i - x_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_k) & \sin(\alpha_k) \\ -\sin(\alpha_k) & \cos(\alpha_k) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_i - x_0 \\ r_i - x_0 \end{bmatrix}.$$

4. Рассчитываются переменные L_0, L_1, L_2, L_3 по формулам (21–24).

5. Рассчитываются корни уравнения (20).

6. Из корней уравнения выбирается один корень α , который является вещественным числом.

7. Рассчитывается уточненный угол:

$$k = k + 1, \alpha_k = \alpha_{k-1} + \alpha.$$

8. Перейти к шагу №2.

Количество переходов определяет количество итераций. Выход из процедуры происходит по критерию: $|\alpha_k - \alpha_{k-1}| < thr$, где thr – порог. При моделировании использовался порог, равный 10^{-9} рад.

Компьютерное моделирование и натурный эксперимент

Для определения точности измерения параметра бокового износа была использована модель профиля рельса с изношенной головкой и известным значением бокового износа.

К каждой координате точки данного профиля по абсциссе и ординате добавлялась помеха с Гауссовым распределением и заданным среднеквадратичным отклонением (СКО) σ_n .

Согласно вышеописанным алгоритмам проводилось совмещение с неизношенным профилем рельса и вычислялся боковой износ.

Вычисленное значение бокового износа сравнивалось с действительным значением. Результатом сравнения является среднеквадратичная величина (СКВ).

Результат точности измерения представлен на рис. 8.

На рис. 9 показан процесс измерения профиля рельса с использованием профильного сканера, где яркая линия на поверхности исследуемого объекта соответствует лазеру сканера.

На рис. 10 показан результат совмещения измеренного профиля рельса с профилем неизношенного рельса в соответствии с предложенными алгоритмами.

Заключение

Разработка алгоритмов совмещения профилей является одной из задач в тех областях науки и техники, в которых применяются триангуляционные профильные сканеры. Контроль износов для обеспечения без-

опасности движения на железной дороге является одним из примеров практического применения разработанных алгоритмов.

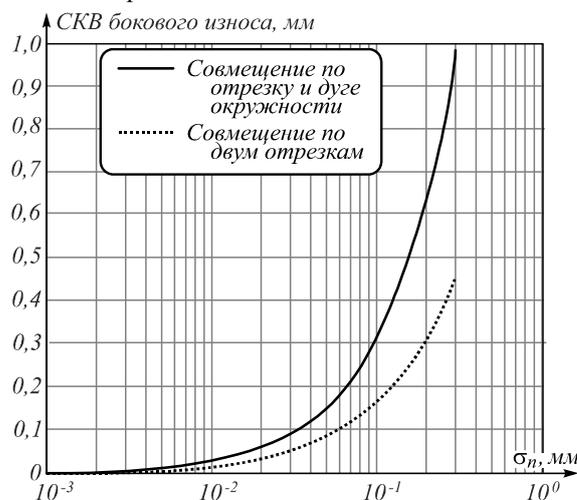


Рис. 8. Зависимость СКВ бокового износа от шума

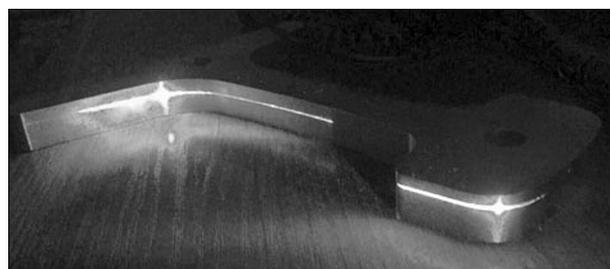


Рис. 9. Получение профиля рельса профильным сканером

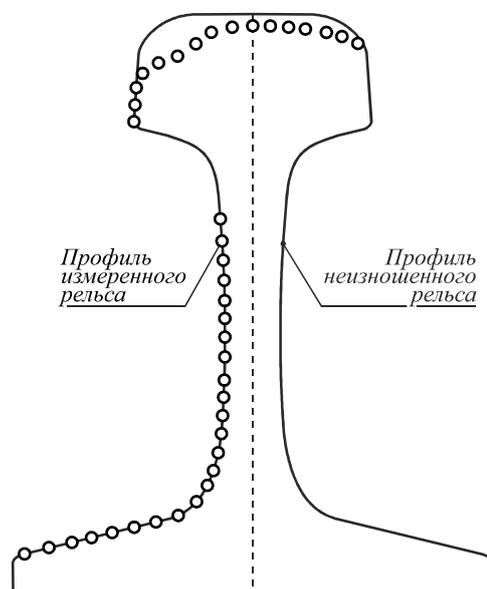


Рис. 10. Совмещение профиля рельса с профилем неизношенного рельса

Предложенные алгоритмы потенциально обеспечивают улучшение технико-экономических показателей путеизмерителей (использование в системе измерения одного сканера вместо двух без ограничения их функциональных возможностей), а также улучшение эксплуатационных показателей (вероятность выхода из строя одного из двух сканеров выше, чем одного).

Следует отметить, что разработанные алгоритмы можно использовать для контроля качества изготовления деталей, а также степени их изношенности для их своевременной замены. Эта задача возникает в тех областях промышленности, в которых необходимо контролировать геометрию объектов со сложным профилем, то есть состоящим из отрезков и дуг окружностей (например, автомобильные фары, пазы в трубах, замковой резьбы бурильных труб и т.д.).

Литература

1. **Лурье, А.И.** Аналитическая механика / А.И. Лурье. – М.: Физматлит, 1961. – 824 с.
2. **Bookstein, F.L.** Fitting conic sections to scattered data / F.L. Bookstein // Computer Graphics and Image Processing. – 1979. – Vol. 9, Issue 1. – P. 56-71. – DOI: 0.1016/0146-664X(79)90082-0.
3. **Ellis, T.** Ellipse detection and matching with uncertainty / T. Ellis, A. Abbood, B. Brillault // Image and Vision Computing. – 1992. – Vol. 10, Issue 5. – P. 271-276. – DOI: 10.1016/0262-8856(92)90041-Z.
4. **Gander, W.** Least-square fitting of circles and ellipses / W. Gander, G.H. Golub, R. Strebel // BIT Numerical Mathematics. – 1994. – Vol. 34, Issue 4. – P. 558-578. – DOI: 10.1007/BF01934268.
5. **Rosin, P.L.** A note on the least squares fitting of ellipses / P.L. Rosin // Pattern Recognition Letters. – 1993. – Vol. 14, Issue 10. – P. 799-808. – DOI: 10.1016/0167-8655(93)90062-I.
6. **Rosin, P.L.** Nonparametric segmentation of curves into various representations / P.L. Rosin, G.A. West // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1995. – Vol. 17, Issue 12. – P. 1140-1153. – DOI: 10.1109/34.476507.
7. **Sampson, P.D.** Fitting conic sections to "very scattered" data: An iterative refinement of the bookstein algorithm / P.D. Sampson // Computer Graphics and Image Processing. – 1982. – Vol. 18, Issue 1. – P. 97-108. – DOI: 10.1016/0146-664X(82)90101-0.
8. **Диязитдинов, Р.Р.** Оценивание параметров положения контура кривой в профильной системе / Р.Р. Диязитдинов // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12, № 2. – С. 70-73.
9. **Диязитдинов, Р.Р.** Совмещение профиля резьбы бурильной трубы с эталонным профилем / Р.Р. Диязитдинов // Инфокоммуникационные технологии. – 2016. – Т. 14, № 1. – С. 59-63.
10. ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 101 с.
11. **Орт, А.** Словарь строительных терминов / А. Орт, Р. Фалтинский. – Санкт-Петербург: Штандарт, 2009. – 320 с. – ISBN: 978-5-9901622-1-1.

Сведения об авторах

Васин Николай Николаевич, 1945 года рождения, в 1969 году окончил Куйбышевский авиационный институт (КуАИ), ныне – Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева), работает заведующим кафедрой систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Область научных интересов: компьютерная оптика, методы и средства измерений для научных исследований и испытаний сложных технических объектов. E-mail: vasin@psati.ru.

Диязитдинов Ринат Радмирович, 1987 года рождения, в 2009 году окончил Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ) по специальности 210709 «Многоканальные телекоммуникационные системы», работает доцентом в ПГУТИ. Область научных интересов: компьютерная оптика, обработка изображений, триангуляционные системы измерения. E-mail: rinat.diyazitdinov@gmail.com.

ГРНТИ: 28.23.15

Поступила в редакцию 16 апреля 2018 г. Окончательный вариант – 14 ноября 2018 г.

PROCESSING OF TRIANGULATION SCANNER DATA FOR MEASUREMENTS OF RAIL PROFILES

N.N. Vasin¹, R.R. Diyazitdinov¹

¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

Abstract

In this article, we describe algorithms for superposition of a profile of the rail under measurement and that of an unused rail. The algorithms calculate parameters of the superposition, which links the two profiles, with one of them being described by a set of points and the other - by line equations. The algorithms are intended for evaluating the rail wear based on the data from triangulation scanners, which are installed on a track measuring car.

Keywords: triangulation scanner, unused rail, measured rail, superposition, track measuring car, profile, iteration algorithm.

Citation: Vasin NN, Diyazitdinov RR. Processing of triangulation scanner data for measurements of rail profiles. Computer Optics 2018; 42(6): 1054-1061. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-6-1054-1061.

References

- [1] Lurie AI. Analytical Mechanics. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2002. ISBN: 978-3-540-42982-1.

- [2] Bookstein FL. Fitting conic sections to scattered data. Computer Graphics and Image Processing 1979; 9(1): 56-71. DOI: 10.1016/0146-664X(79)90082-0.

- [3] Ellis T, Abbood A, Brillault B. Ellipse detection and matching with uncertainty. *Image and Vision Computing* 1992; 10(5): 271-276. DOI: 10.1016/0262-8856(92)90041-Z.
- [4] Gander W, Golub GH, Strebler R. Least-square fitting of circles and ellipses. *BIT Numerical Mathematics* 1994; 34(4): 558-578. DOI: 10.1007/BF01934268.
- [5] Rosin PL. A note on the least squares fitting of ellipses. *Pattern Recognition Letters* 1993; 14(10): 799-808. DOI: 10.1016/0167-8655(93)90062-1.
- [6] Rosin PL, West GA. Nonparametric segmentation of curves into various representations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 1995; 17(12): 1140-1153. DOI: 10.1109/34.476507.
- [7] Sampson PD. Fitting conic sections to "very scattered" data: An iterative refinement of the Houghstein algorithm. *Computer Graphics and Image Processing* 1982; 18(1): 97-108. DOI: 10.1016/0146-664X(82)90101-0.
- [8] Diyazitdinov RR. Rate position's parameters of curve for profile sensor [in Russian]. *ICT* 2014; 12(2): 70-73.
- [9] Diyazitdinov RR. Combination bolted joint of drill pipe's counter and etalon counter [in Russian] // *ICT* 2016; 14(1): 59-63.
- [10] GOST R 51685-2013. Railway Rails. General specifications [in Russian]. Moscow: "Standartinform" Publisher; 2014.
- [11] Ort A, Faltinsky R. Glossary of building terms [In Russian]. Saint-Petersburg: "Shtandart" Publisher; 2009. ISBN: 978-5-9901622-1-1.

Authors' information

Nokolay Nikolaevich Vasin (b. 1945) graduated from Kuibyshev Aviation Institute in 1969 (KuAI; presently, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov). Currently he works as Chair of communications system department of Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics. Research interests are computer optics, measurement's method and devices in scientific researches, experience complex technical object. E-mail: vasin@psati.ru.

Rinat Radmirovich Diyazitdinov (b. 1987) graduated from Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics in 2009 (PSUTI), Multychannel Telecommunication System sub-department. He works as the assistant professor. His research interests are currently focused on computer optics, image processing, and triangulation measurements system. E-mail: rinat.diyazitdinov@gmail.com.

Received April 16, 2018. The final version – November 14, 2018.
