

## СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Н.Н. Васин, Р.Р. Дязитдинов

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

### Аннотация

В статье приведено описание системы технического зрения, предназначенной для мониторинга железнодорожного пути. Описаны основные элементы алгоритма обнаружения маячных меток, которые используются для контроля механических напряжений по длине рельсовой плети. В заключительном разделе статьи описаны особенности, которые встречаются в реальных условиях эксплуатации: влияние неоднородностей поверхности катания рельса на работу алгоритма и ложное обнаружение элементов инфраструктуры железнодорожного пути, похожих на маячные метки.

**Ключевые слова:** техническое зрение, обработка изображений, видеокамеры, железнодорожная инфраструктура, маячные метки.

**Цитирование:** Васин, Н.Н. Система технического зрения для контроля состояния железнодорожного пути / Н.Н. Васин, Р.Р. Дязитдинов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 3. – С. 410-415. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-3-410-415.

### Введение

Применение «бесстыкового пути» на сети железных дорог повышает скорость движения, комфорт, снижает износ как подвижного состава, так и рельсов [1]. Однако из-за неравномерности механических напряжений рельса может произойти его «выброс», что приводит к серьёзным авариям [2]. Для обеспечения безопасности движения на железной дороге проводится регулярный контроль механических напряжений по длине многокилометровых рельсовых плетей бесстыкового пути [1].

Оценка механических напряжений производится по смещению рельсовой плети, возникающему, например, при изменении температуры. Смещение определяется по относительному положению рисок (маячных меток), нанесенных на подошве рельса и на специальных шпалах, к которым рельс не крепится (рис. 1).

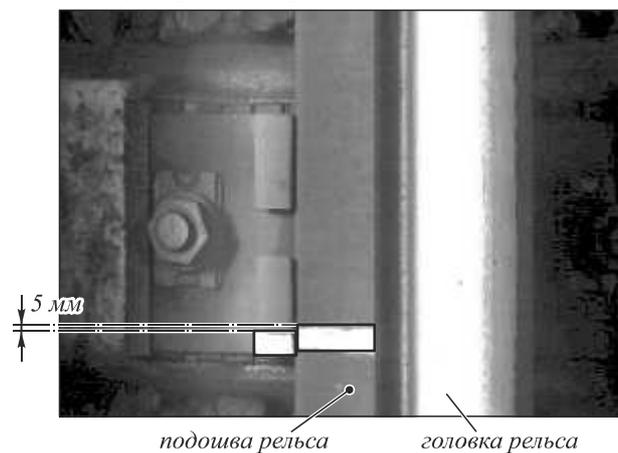


Рис. 1. Смещение маячных меток

До настоящего времени оценка смещений участков рельсовой плети проводится ручным способом: на места расположения маячных шпал выезжает железнодорожная бригада и производит измерения. Полученные данные анализируются инженерами-путейцами. Качественная оценка смещений совокупности меток на контролируемом участке позволяет специалистам оценить состояние пути и принять меры по выравниванию неравномерности механических напряжений

рельсов. Значительное время, потраченное на проведение замеров, не отвечает современным требованиям оперативного контроля бесстыкового пути [1, 2].

Последние несколько лет на железной дороге стали применяться системы технического зрения (СТЗ), устанавливаемые на специальных путеизмерительных вагонах [3, 4]. Обработка информации, полученной с установленных под вагоном видеокамер, направлена на распознавание объектов: положения рельса, положения стыковых зазоров, наличие накладок, шпал и т.д.

Однако существующие СТЗ не распознают маячные метки на подошве рельса и не определяют их смещение относительно маячных шпал. Расширение функциональных возможностей существующих СТЗ с использованием известных алгоритмов идентификации объектов [5, 6] позволяет определять неравномерность смещений и напряжений рельсовых плетей.

В статье представлено описание СТЗ и элементов алгоритма обработки изображения для обнаружения и качественной оценки смещения маячных меток.

### Система технического зрения

Видеокамера располагается на специальной платформе под путеизмерительным вагоном. Схема расположения камеры видеонаблюдения на специальной платформе под вагоном приведена на рис. 2. Камера закреплена таким образом, что в ее поле зрения попадает поверхность катания рельсов, а также шпальная решетка с галькой. Для защиты от солнечных лучей конструкция оснащена защитными экранами. Для работы в ночное время система оснащается источниками освещения. На рис. 1 представлено формируемое видеокамерой изображение элементов железнодорожного пути, в том числе маячных меток.

Бесстыковым путь может быть только на прямых участках. На станциях, разъездах, закругленных участках используются рельсы со стыками. Поэтому весь контролируемый маршрут представляет собой набор отдельных участков бесстыкового пути, информация о которых и предоставляется путейцам. Информация об участках пути со стыками (станции, разъезд, поворот и т.д.) удаляется. Это легко реализуется, т.к. путеизме-

рительные вагоны снабжены одометрами, что позволяет привязать обнаруженные маячные метки к линейным координатам пути.

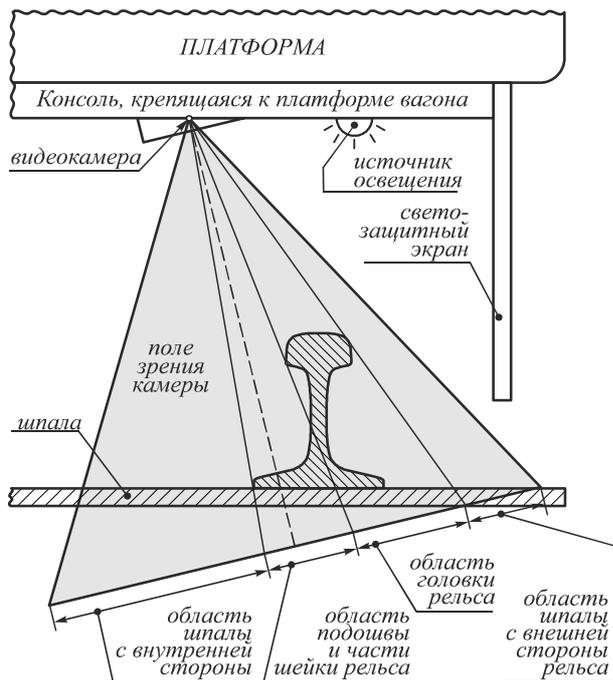


Рис. 2. Схема расположения камеры относительно рельса

#### Условия работы системы технического зрения

При движении вагона происходит смещение платформы, на которой установлена видеочкамера СТЗ, относительно вагона и пути. Это смещение получило название «относ» конструкции. В соответствии с этим относом будет меняться и снимаемое изображение. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке алгоритмов распознавания, поскольку изображения объектов в кадре при нулевом и максимальном отнесе платформы будут различны.

На рис. 3 приведены изображения объекта контроля при разных смещениях камеры относительно рельса: среднем, максимальном и минимальном. Размеры объекта приведены в пикселях изображения кадра видеочкамеры.

Например, ширина подошвы рельса меняется от 183 до 187 пикселей при использовании видеочкамеры с ПЗС-матрицей с разрешением 2048×2048 пикселей.

В соответствии с требованиями погрешность измерения смещений по отношению к положению маячных меток составляет  $\pm 1$  мм. Разрешающая способность используемых видеочкамер составляет 0,5 мм/пиксель в продольном направлении. Максимальная погрешность дискретных измерений составляет  $\pm 0,25$  мм. Другими словами, СТЗ отвечает требованиям точности измерения.

В используемой экспериментальной СТЗ вариации размеров контролируемых областей в поперечном направлении на несколько пикселей не влияют на работу алгоритма распознавания маячных меток. Это обстоятельство позволяет в значительной степени упростить поиск на изображении области подошвы рельса.

Как видно из рис. 3, область поверхности катания характеризуется высокой однородностью в отличие от области шпалы с внешней стороны рельса (области с галькой).

Данное свойство позволяет достаточно точно оценить положение внешней границы поверхности катания. Влево от этой границы (см. рис. 3) на расстоянии 240 пикселей автоматически находится область подошвы рельса шириной 185 пикселей.

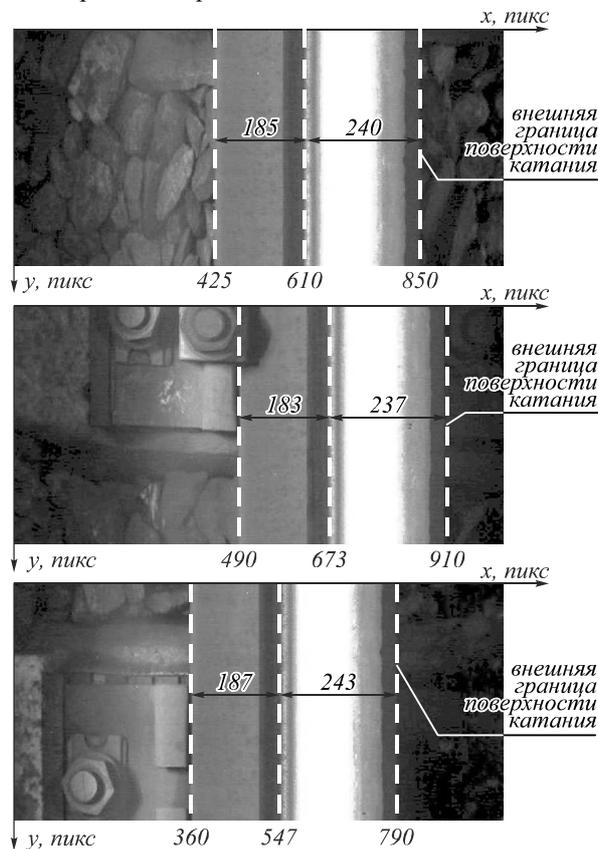


Рис. 3. Граница и размеры областей рельса

#### Элементы работы алгоритма определения смещения маячных меток

Определение положения маячных меток проводится в соответствии со следующей схемой: на кадре определяется граница, соответствующая внешней границе катания. При известной ширине поверхности катания и ширине подошвы выделяется область изображения подошвы рельса, на которой может располагаться маячная метка. Если объект, похожий на маячную метку, будет зафиксирован на рельсе, то в окрестности найденного объекта производится поиск второй маячной метки, которая должна располагаться на шпале.

Для определения внешней границы поверхности катания были использованы различные способы, в частности поиск контурных границ по методу Canny [7], а также определение уравнения, описывающего границу областей, по методу RANSAC [8]. Это позволило дать стабильную оценку областей при наличии неверно зафиксированных контурных точек. Алгоритм определения внешней границы, разработанный

ный на основе указанных способов, удовлетворительно справлялся с поставленной задачей.

Кроме того, был разработан другой алгоритм определения внешней границы. Для этого рассчитывалось СКО яркости для каждого столбца ПЗС-матрицы видеокамеры [9, 10]. Анализ СКО позволяет определить, какой из столбцов ПЗС-матрицы соответствует внешней границе поверхности катания.

Принцип определения внешней границы поверхности катания по СКО заключается в следующем: в области, где может располагаться граница, вычисляется значение СКО яркости для каждого столбца ПЗС-матрицы. Поверхность катания в силу слабо меняющейся яркости будет характеризоваться низким значением СКО яркости, а область, соответствующая гальке и шпалам (рис. 4), будет характеризоваться высоким значением СКО. Из графика СКО видно, что внешней границе поверхности катания рельса соответствует резкий переход от низкого значения к высокому [10].

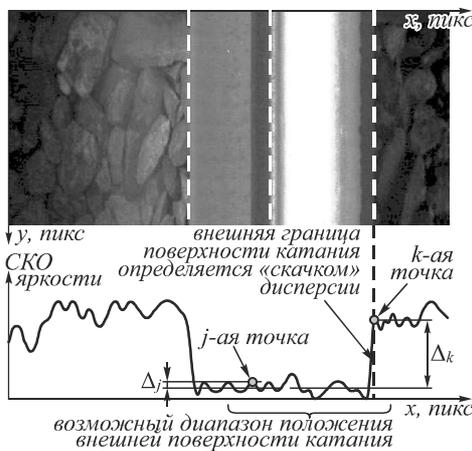


Рис. 4. Определение внешней границы поверхности катания

Внешняя граница может принимать значение  $i$ , которое может меняться в пределах  $[i_{\min}, i_{\max}]$ , где  $i$  – номер столбца ПЗС-матрицы, где  $[i_{\min}, i_{\max}]$  – диапазон, в котором может находиться внешняя граница поверхности катания (в примере, представленном на рис. 3:  $i_{\min} = 790$  пикселей,  $i_{\max} = 910$  пикселей).

Чтобы определить перепад в точке  $i$ , справа и слева от точки выделяются отрезки одинаковой длины. Затем вычисляется среднее значение СКО для отрезков в соответствии с выражениями:

$$L_i = \sqrt{(s_{i-N}^2 + s_{i-N+1}^2 + \dots + s_{i-1}^2) / N},$$

$$R_i = \sqrt{(s_{i+1}^2 + s_{i+2}^2 + \dots + s_{i+N}^2) / N},$$

где  $L_i$  – среднее СКО для отрезка, находящегося слева от  $i$ -й точки,  $R_i$  – среднее СКО для отрезка, находящегося справа от  $i$ -й точки,  $N$  – количество точек в отрезке,  $s_i$  – СКО яркости  $i$ -го столбца ПЗС-матрицы.

Перепад в точке  $i$ :  $\Delta_i = L_i - R_i$ .

Максимальный перепад, который будет соответствовать внешней границе поверхности катания, определяется по формуле:

$$\hat{i} = \arg \max_i (\Delta_i), \quad i = i_{\min} \dots i_{\max}.$$

Работа алгоритма поиска внешней границы поверхности катания, реализованного в системе технического зрения, проиллюстрирована на рис. 4.

При известной внешней границе поверхности катания, ширине поверхности катания и ширине подошвы определяются область, где может располагаться маячная метка.

Для определения местонахождения маячной метки (если она есть) используется усреднение яркости вдоль строки ПЗС-матрицы (рис. 5) в области подошвы (сигнал  $s$ ) и пороговая функция (сигнал  $w$ ). При поиске маячных меток определяются места, где усредненное значение  $s$  выше пороговой функции  $w$  [9, 10].

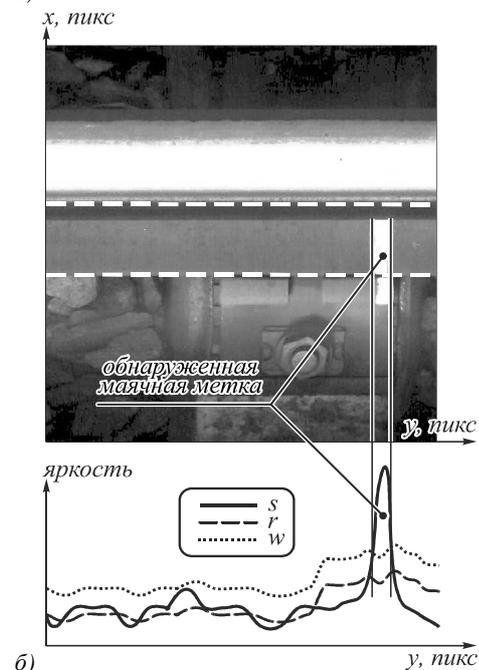
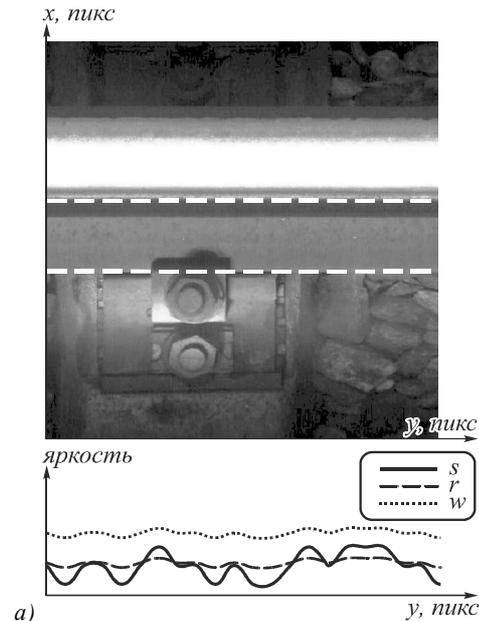


Рис. 5. Определение маячной метки

Пороговая функция  $w$  рассчитывается:

$$w = r + C,$$

где  $C$  – постоянное смещение при диапазоне изменения яркости от 0 до 255 дискретных уровней. Экспериментальным путем установлено, что для уверенной фиксации маячной метки смещение  $C$  выбирается равным 20;  $r$  – результат свертки сигнала  $s$  и импульсной характеристики усредняющего фильтра  $h$ :

$$r = s * h,$$

$s$  – среднее значение яркости вдоль строки ПЗС-матрицы в области подошвы рельса;  $*$  – оператор свертки;  $h = [1, 1, \dots, 1] \cdot (1/N)$  – импульсная характеристика усредняющего фильтра,  $N$  – длина фильтра.

Средняя ширина риски на подошве равняется 20 мм. При разрешении 0,5 мм/пиксель 20 мм будет соответствовать 40 пикселям на изображении. Длина усредняющего фильтра  $N$  выбирается равной утроенной длине маячной метки в продольном направлении, то есть  $N = 3 \cdot 40 = 120$ .

Графическая иллюстрация описанного способа представлена на рис. 5. На рис. 5а показан случай, когда на поверхности катания отсутствует маячная метка, а на рис. 5б – присутствует.

#### **Особенности работы алгоритма поиска маячной метки**

Среди основных особенностей работы алгоритма, выявленных в ходе опытной эксплуатации СТЗ, можно выделить следующие наиболее характерные ситуации:

- неверное определение внешней границы поверхности катания рельса из-за дефектов на рельсе;
- обнаружение объектов, похожих на маячные метки.

Определение внешней границы поверхности катания рельса основано на анализе сигнала СКО яркости, вычисленного вдоль столбца изображения. Если поверхность катания содержит неоднородности (дефекты, возникающие из-за торможения, сколы и т.д.), то на изображении эта ситуация будет иметь вид резких изменений яркости в области поверхности катания (в пределах  $\pm 10\%$ ). И СКО вдоль столбца изображения на поверхности катания будет сопоставима с СКО изображения гальки, что, в свою очередь, может привести к неверной оценке границы.

Для корректной обработки таких ситуаций был использован следующий приём: значения яркостей пикселей вдоль столбца сортируются по возрастанию яркости. 10% значений, находящихся по краям, отбрасывается и не участвует при расчете СКО. Это позволило правильно определять внешнюю границу поверхности катания при наличии дефектов на ней.

На поверхности подошвы рельса также могут располагаться объекты, которые похожи на маячные метки. Например, места, где происходила сварка рельсов, помечаются двумя отметками светлой краской по краям от места сварки (рис. 6). Эти места фиксируются системой СТЗ как объекты «маячные метки», но ими не являются.

Однако в этих местах отсутствует вторая часть маячной метки, которая должна располагаться на шпале. Такой метке присваивается признак, который сигнализирует об этой ситуации. При дешифрации оператор не рассматривает подобные объекты как маячные метки.

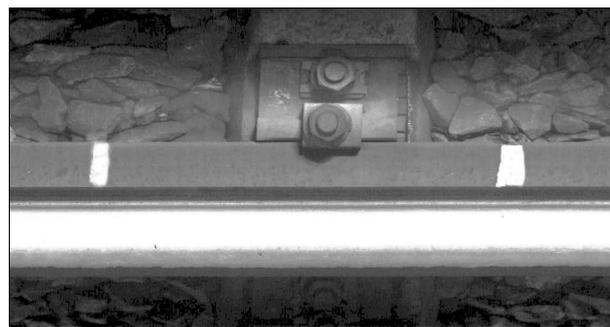


Рис. 6. Участок рельса с помеченным местом сварки

Основным источником ошибок, для исправления которых необходимо вмешательство оператора, являются объекты, характеризующиеся такими же признаками, как у маячной метки (светлые отметины на темной поверхности подошвы рельса). Этими признаками обладают множество элементов железнодорожной инфраструктуры (например, отметки в местах сварки, нумерация шпал и т.д.).

Описанные случаи могут приводить к ложному обнаружению маячных меток. Они являются сложными с точки зрения логического распознавания ситуаций, и отбраковка таких объектов происходит с помощью оператора.

Специалист-путеец на основании данных о железнодорожной координате самостоятельно отбраковывает объекты на тех участках пути, где маячные метки не могут располагаться по определению. Высокий процент исправлений результатов работы СТЗ со стороны оператора является существенным недостатком. Однако система позволяет значительно повысить безопасность движения и облегчить труд путейцев.

#### **Заключение**

Таким образом, рассматриваемая система технического зрения оперативно предоставляет необходимые данные специалистам-путейцам для определения стабильности контролируемых участков пути, их безопасности, или же наоборот, информацию о необходимости ограничения скорости движения или закрытия пути в целях предотвращения сходов железнодорожных вагонов.

Основным недостатком является высокий процент вмешательства в технологический процесс со стороны оператора. Однако путейцы несут персональную ответственность за обеспечение безопасности движения, поэтому вопрос полной автоматизации в настоящее время не ставится.

#### **Литература**

1. Альбрехт, В.Г. Бесстыковой путь / В.Г. Альбрехт, А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 2000. – 285 с.
2. Павленко, В.В. Система определения предотказного состояния бесстыкового пути для обеспечения безопасности движения поездов / В.В. Павленко // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 5(36). – С. 31-33.
3. Ерёмин, С.Н. Опыт использования технологии обработки изображений при проектировании интеллектуальных транспортных систем / С.Н. Еремин, Л.Л. Малыгин, А.Е. Михайлов, В.А. Царев // Искусственный интеллект в

- XXI веке: Труды международного конгресса (ICAI ' 2001). – М.: Физматлит, 2001. – С. 676-690.
4. **Иванов, Ю.А.** Технологии компьютерного зрения для наблюдения за объектами путевой инфраструктуры / Ю.А. Иванов // Техника железных дорог. – 2011. – № 4(16). – С. 57-61.
  5. **Васин, Н.Н.** Алгоритмы идентификации объектов в системах видеонаблюдения с использованием статистических методов / Н.Н. Васин, Р.Р. Диязитдинов // Инфокоммуникационные технологии. – 2011. – Т. 9, № 3. – С. 23-28.
  6. **Шапиро, Л.** Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
  7. **Canny, J.** A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – Vol. PAMI-8, Issue 6. – P. 679-698. – DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
  8. **Fischler, M.A.** Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography / M.A. Fischler, R.C. Bolles // Communications of the ACM. – 1981. – Vol. 24(6). – P. 381-395.
  9. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова, В.В. Мясников, С.Б. Попов, В.В. Сергеев, В.А. Соيفер, А.Г. Храмов, А.В. Чернов, В.М. Чернов, М.А. Чичёва, В.А. Фурсов; под ред. В.А. Соифера. – М.: Физматлит, 2004. – 784 с.
  10. **Оппенгейм, А.** Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. /А. Оппенгейм, Р. Шафер; под ред. А.Б. Сергиенко. – 2-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2007. – 856 с.

#### 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. Королёва), 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](mailto: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](mailto:rinat.diyazitdinov@gmail.com).

ГРНТИ: 28.23.15.

Поступила в редакцию 12 декабря 2014 г. Окончательный вариант – 10 июня 2016 г.

### A MACHINE VISION SYSTEM FOR INSPECTION OF RAILWAY TRACK

*N.N. Vasin, R.R. Diyazitdinov*

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

#### Abstract

We propose a machine vision system for the inspection of the railway track condition. Key stages of an algorithm for detecting gauge marks that serve to identify mechanical stresses of a continuous welded rail track are described. In the final section of the article, we discuss some peculiarities found in real exploitation conditions: effects of the rail surface defects on the algorithm performance and false detection of railway infrastructure elements similar to gauge marks.

**Keywords:** machine vision, image processing, video-camera, railway infrastructure, gauge mark.

**Citation:** Vasin NN, Diyazitdinov RR. A machine vision system for inspection of railway track. Computer Optics 2016; 40(3): 410-415. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-3-410-415.

#### References

- [1] Albrecht VG, Kogan AY. The Jointless Track [in Russian]. Moscow: "Transport" Publisher; 2000.
- [2] Pavlienko VV. The Detection System of Railway Non-condition State for Safety Carriage Movement [in Russian]. Transport Rossiyskoy Federacii 2011; 5(36): 31-33.
- [3] Eremin SN, Maligin LL, Mikhaylov AE, Sarev VA. The Technology Image Processing for Developing Intelligent Transport System. Artificial Intellect at XXI Century: The international congress (ICAI ' 2001) [in Russian]. Moscow: "Fizmatlit" Publisher; 2001: 676-690.
- [4] Ivanov UA. The Computer View Technology for Surveillance Railway Infrastructure [in Russian]. Technika Geleznich Dorog 2011; 4(16): 57-61.
- [5] Vasin NN, Diyazitdinov RR. The Algorithms Detection Objects of Video Surveillance on Statistical Pattern [in Russian]. ICT 2011; 9(3): 23-28.
- [6] Shapiro L, Stockman G. Computer Vision. NJ, USA: Prentice Hall PTR Upper Saddle River; 2001.
- [7] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence 1986; PAMI-8(6): 679-698. DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
- [8] Fischler MA, Bolles RC. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Comm of the ACM 1981; 24(6): 381-395.

- [9] Soifer VA, ed. The Computer Image Processing Methods [in Russian]. Moscow: "Fizmatlit" Publisher; 2004.  
[10] Oppenheim A, Schafer R. Digital Signal Processing. Englewood Cliffs, N.J.: PrenticeHall; 1975.

*Authors' information*

**Nokolay Nikolaevich Vasin** (b. 1945) graduated from Kuibyshev Aviation Institute in 1969 (KuAI; presently, S.P. Korolyov Samara National Research University). Currently he works as the Chair of Communications Systems department of Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics. Research interests are computer optics, measurements techniques and instrumentation for scientific research, and testing of complex technical items. E-mail: [vasin@psati.ru](mailto:vasin@psati.ru).

**Rinat Radmirovich Diyazitdinov** (b. 1987) graduated from Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics in 2009 (PSUTI), specializing in Multichannel Telecommunication Systems. Currently, he works as an assistant professor at PSUTI. His research interests currently focus on computer optics, image processing, and triangulation measurements system. E-mail: [rinat.diyazitdinov@gmail.com](mailto:rinat.diyazitdinov@gmail.com).

---

*Received December 12, 2014. The final version – June 10, 2016.*

---