

Юрий Кутовой, Ярослав Кириленко, Татьяна Кунченко

### Автоматическое управление скоростным режимом рельсовых транспортных средств с помощью технологий компьютерного зрения

**Анотация.** Рассмотрены возможности применения современных алгоритмов компьютерного зрения для создания систем автоматического регулирования скорости приводов рельсовых транспортных средств. Показано что указанные алгоритмы позволяют создать системы автовождения и системы реализации максимальной силы тяги по условию сцепления.

**Ключевые слова:** рельсовое транспортное средство, электропривод, кривизна пути, компьютерное зрение.

Kutovoj Yuri, Kyrylenko Yaroslav, Kunchenko Tatiana

### Automatic speed control of rail vehicles using computer vision technologies

**Annotation.** Possibilities of using modern algorithms of computer vision to create systems for automatic control of the speed of drives of rail vehicles are considered. It is shown that these algorithms make it possible to create auto-driving systems and systems for realizing the maximum traction force based on the adhesion condition.

**Keywords:** rail vehicles, electric drive, rail track curve, computer vision.

**Введение.** Скоростной режим рельсовых транспортных средств (РТС) и, в частности, железнодорожного транспорта во многом зависит от кривизны пути. Кривизна пути требует уменьшения скорости движения, а это в настоящее время осуществляется машинистом в соответствии с графиком движения.

Анализ аварийных ситуаций на железных дорогах показал, что причиной большинства сходов с рельс является человеческий фактор и состояние железно дорожного полотна. Поэтому в соответствии с международным стандартом ИЕС 62290 – 1:2014 необходимо повышать степень автоматизации железнодорожного транспорта до третьего и четвертого уровня, исключая человеческий фактор [1].

Решение этой задачи возможно на основе технологий компьютерного зрения и интеллектуальных систем управления электрическим приводом РТС [2, 3, 4, 5, 6, 7].

**Цель.** Целью настоящей работы является разработка на основе алгоритмов компьютерного зрения систем автоматического регулирования скорости электропривода РТС в зависимости от кривизны пути железнодорожного полотна. С этой целью на кабину машиниста устанавливается камера как показано на рисунке 1.

На этой схема камера формирует видео поток, который поступает на блок обработки изображения покадрово. Для представления кадра используется матрица А размерность которой  $N_1 \times M_1$  соответствует высоте и ширине кадра. Значения  $N_1$  и  $M_1$  зависят от настройки камеры. На выходе блока обработки изображения формируется матрица В размер столбцов которой соответствуют координатам левого и правого рельса соответственно, а размер строк  $N_2$  равен количеству точек. Блок анализа полученных контрольных точек

формирует матрицу С, которая хранит два значения R и D, где R это значение радиуса кривизны рельсового полотна, а значение D равно коду дефекта на полотне. Код дефекта равняется единице в случае обнаружения дефекта в противном случае код равен нулю. Выходное устройство формирует сигнал задания скорости.

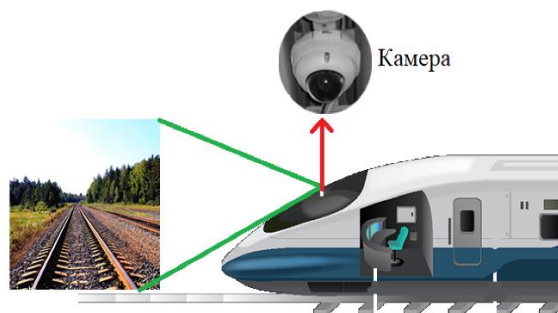


Рис.1. Схема получения изображения с помощью камеры

**Материал исследования.** Изображение с камеры обрабатывается в определённой последовательности показанной на рисунке 2.

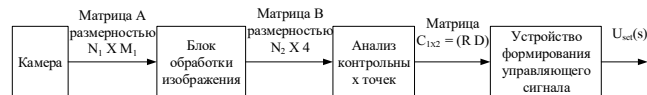


Рис.2. Функциональная схема канала обработки изображения

В блоке обработки изображения используется библиотека алгоритмов компьютерного зрения с открытым исходным кодом OpenCV [8, 9]. Блок-схема алгоритма, реализующего обработку изображения показана на рис.3. Программирование выполнено с использованием языка Python, который достаточно хорошо сопрягается с библиотекой OpenCV.

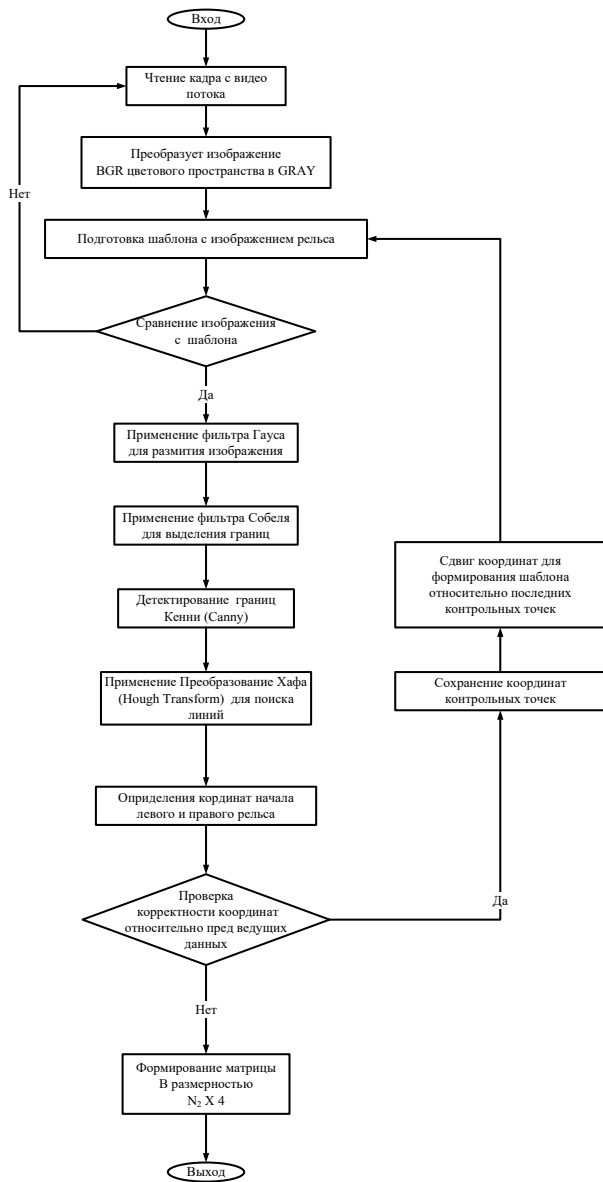


Рис.3. Блок-схема алгоритма обработки изображения

Радиус кривизны пути находится по трем контрольным точкам, по результатам сравнения точек левого и правого рельса относительно друг друга, определение расстояния сдвига между точками из-за кривизны.

На рис.4 приведена блок-схема алгоритма измерения кривизны пути и определения дефектов геометрии железно дорожного полотна.

Далее, в соответствии с функциональной схемой канала обработки изображения, формируется сигнал управления на электропривод, обеспечивающий снижение скорости в зависимости от кривизны.

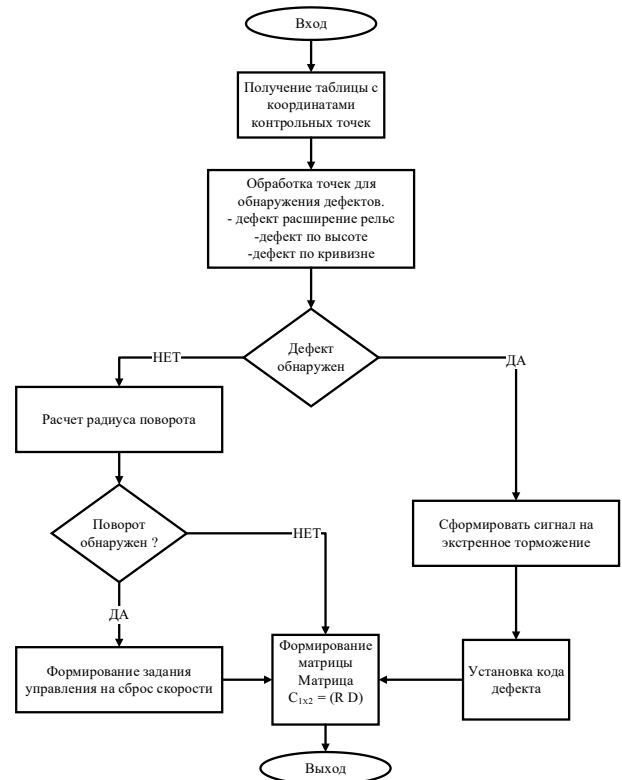


Рис.4. Блок-схема алгоритма определения кривизны пути и дефектов геометрии полотна

На рис.5 приведена структурная схема тягового электропривода, на которую воздействует сигнал с камеры после соответствующей обработки.

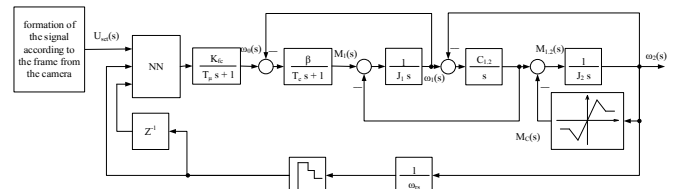


Рис.5. Структурная схема тягового электропривода

Структурная схема, полученная при следующих допущениях: нагрузка между двигателями РТС распределена равномерно, механические характеристики системы на рабочем участке линейные, двигатель и преобразователь представлены аperiодическими звеньями, характеристика сцепления имеет восходящий и падающий участок.

Особенностью данной структуры является наличие в ней нейрорегулятора NN обеспечивающего заданное качество переходного процесса во всем диапазоне нагрузки и при нахождении рабочей точки на падающем участке [10, 11].

Имитационная модель электропривода с автоматическим регулированием скорости в зависимости от кривизны пути, определяемой камерой, показано на рис.6.

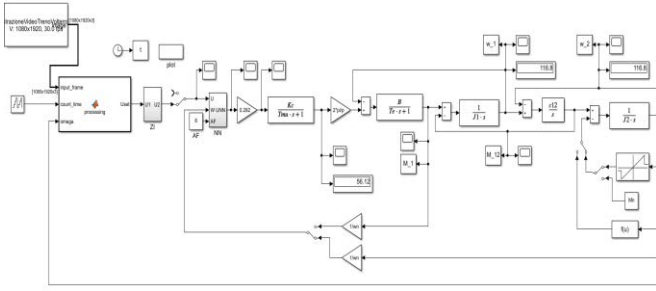


Рис. 6. Имитационная модель электропривода с автоматическим регулированием скорости в зависимости от кривизны пути

Модель, полученная путем интеграции базовых блоков Simulink со скриптом. Для численного эксперимента использовано готовое видеоизображение железнодорожного пути, имеющего кривизну. Кадр из этого видео приведен на рис.7.



Рис. 7. Кадр из видеоизображения с указанием контрольных точек

Моделирование системы показало ее работоспособность, что проявляется в уменьшении скорости движения РТС при движении РТС на участке пути с кривизной. Результаты расчетов на имитационной модели показаны на рис.8, 9, 10.

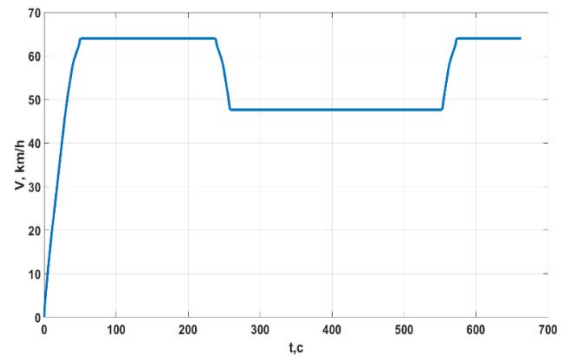


Рис. 8. Некоторые результаты моделирования системы с автоматическим регулированием скорости.

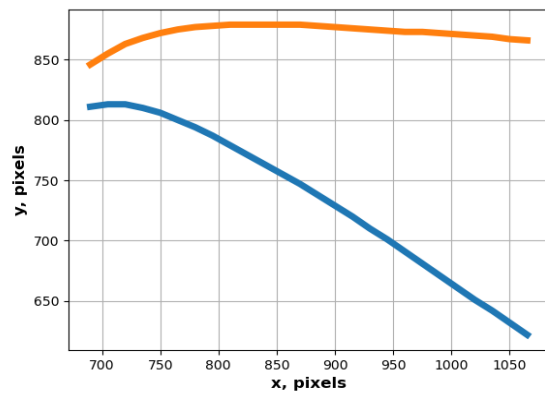


Рис. 9. Пример кривизны на основании которой принимается решение о снижении скорости

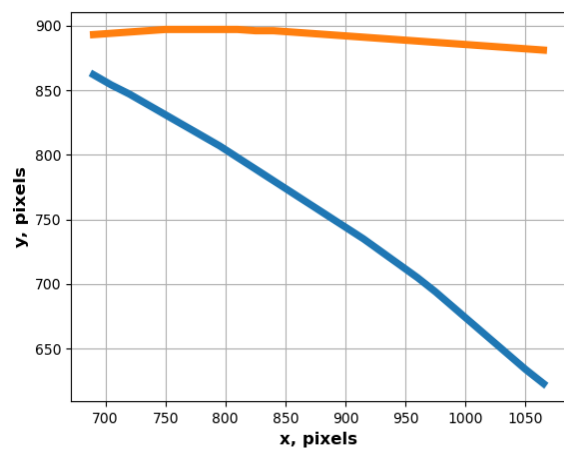


Рис. 10. Пример кривизны на основании которой принимается решение о возвращении скорости в исходное положение

**Вывод.** Повышение уровня автоматизации РТС возможно на основе технологии компьютерного зрения. Данные технологии обеспечивают автоматическое управление скоростным режимом, позволяют выявить дефекты на пути и препятствия на пути, дают возможность создать системы автовождения, что в конечном итоге повышает безопасность движения РТС.

#### Литература

1. IEC 62290-1:2014, Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts, MOD.
2. Systems Engineering Framework for Railway Control & Safety Systems/ Karl Michael King. January 2018 Department of Electronic, Electrical and Systems Engineering University of Birmingham
2. Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library/ Kaehler A., Bradski G.– O'Reilly Media. 2017.
3. Обработка изображений с помощью OpenCV/ пер. с англ. Слинкин А.А. М.: ДМК Пресс. 2016. 210. ил.
4. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы/ пер. с англ А. А. Слинкин. М.: ДМК Пресс, 2019. 506 с.
5. R.L Barbosa and J.F.C Silva. Velocity estimation of a mobile mapping vehicle using filtered monocular optical flow. on Mobile Mapping ..., pages 2–5, 2007.
6. Andrea Giachetti, Marco Campani, and Vincent Torre. The use of optical flow for road navigation. IEEE Transactions on Robotics, 1999.
7. Large displacement optical flow: Descriptor matching in variational motion estimation, PAMI 2011 [PDF] T. Brox and J. Malik
8. Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3: Get to grips with tools, techniques, and algorithms for computer vision and machine learning, 3rd Edition 3rd Edition, Kindle Edition.
9. [https://docs.opencv.org/master/d0/de3/tutorial\\_py\\_intro.html](https://docs.opencv.org/master/d0/de3/tutorial_py_intro.html)
10. Исследование пусковых режимов частотно-регулируемого электропривода магистрального электровоза ДС3 / Ю. Н. Кутовой [и др.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Problems of automated electrodrive. Theory and practice : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ". 2019. № 16. с. 95-98.
11. Neural network control of a frequency-regulated electric drive of a main electric locomotive / Kyrylenko Yaroslav / Kutovoj YuriyObruch / Ihor Kunchenko / Tatiana 2020 IEEE 25th International Conference on Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)

#### Сведения об авторах

**Кутовой Юрий Николаевич / Kutovoj Yuriy Nikolaevich** – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры автоматизированных электромеханических систем; м. Харьков, Украина; e-mail: [kutovoj.yuriy@ukr.net](mailto:kutovoj.yuriy@ukr.net)

**Кириленко Ярослав Александрович / Kyrylenko Yaroslav Alexandrovich** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» аспирант; e-mail: [yaroslav.kyrylenko@khp.edu.ua](mailto:yaroslav.kyrylenko@khp.edu.ua)

**Кунченко Татьяна Юрьевна (Кунченко Татьяна Юрьевна, Kunchenko Tatiana Yur'evna)** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры автоматизированных электромеханических систем; м. Харьков, Украина; e-mail: [medvedeva\\_1412@ukr.net](mailto:medvedeva_1412@ukr.net)