

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА ДЛЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

А.М. РОМАНЧИКОВ,
управляющий директор АО «Трансмашхолдинг»,
кандидат технических наук

В.А. ГРОСС,
ООО «ЛокоТех-Сигнал»,
заместитель генерального директора

П.Е. МАЩЕНКО,
ООО «ЛокоТех-Сигнал», заместитель генерального директора,
кандидат технических наук

К.С. БОЛДЫРЕВ,
ООО «ЛокоТех-Сигнал», специалист по компьютерному зрению

СОВРЕМЕННЫЕ реалии и темп жизни предъявляют высокие требования к обеспечению безопасности движения на транспорте. В связи с этим организации, занимающиеся разработкой, производством и эксплуатацией технических средств и программных продуктов для транспортной отрасли, активно работают над автоматизацией процессов, направленных на предотвращение ситуаций, которые способны причинить вред здоровью людей, повлечь за собой повреждение подвижного состава и инфраструктуры. Первое, на что обращается внимание, — это обнаружение объектов на пути транспортного средства и его реакция в зависимости от возможных последствий. Когда речь идет о локомотиве, то появляется достаточно много факторов (например, огромная инерция или возможность избежать столкновения только путем торможения), которые нужно учитывать в концепции применения автоматизированных средств контроля дорожной обстановки.

Несмотря на то что локомотив движется исключительно по рель-

совой колее, сегментировать его путь все равно необходимо. Это требуется для контроля положения стрелок по ходу движения и понимания, какие объекты представляют угрозу столкновения, а какие — нет. Путевое развитие на станциях усложняет задачу построения траектории движения локомотива, поскольку практически все обозримое перед ним пространство может быть потенциально доступно для движения. Очевидно, что из всего многообразия путей необходимо выделить единственную траекторию с соответствующим положением стрелок, по которой проследует локомотив.

Для построения траектории последовательно используются три метода обработки изображения. Первый из них — *обнаружение объектов (Object Detection)* — нужен для нахождения стрелочных переводов на пути следования локомотива и определения их положения. В этих целях используются разные архитектуры моделей детекции, наиболее популярными из которых на данный момент являются двухступенчатые (такие, как Faster

R-CNN, где на вход передается уже предобработанное изображение) и одноступенчатые (YOLO или EfficientDet). Раньше по качеству работы они подразделялись на медленные, но обеспечивающие относительно высокую точность (например, двухступенчатые рекуррентные сети), и на быстрые, но менее точные (такие как YOLO). Однако у последней, пятой, версии модели YOLO в тестах производительность и точность лучше, чем у остальных современных архитектур. Это хорошо видно на **рис. 1**, позволяющем сравнить быстродействие и качество различных архитектур. Быстродействие определяется временем инференса в миллисекундах, качество (точность детектирования) — мерой Average Precision, представляющей собой отношение правильно обнаруженных объектов ко всем обнаруженным объектам с поправкой на совпадение рамок.

Принцип работы архитектуры YOLO заключается в том, что модель только один раз пропускает все изображение через свои сверточные слои, благодаря чему достигается более высокая скорость обработки данных по сравнению с двухуровневыми сетями, которые сначала выбирают на изображении отдельные регионы для распознавания, а уже потом определяют объект в каждом из них.

Для обучения нейронной сети системы обнаружения препятствий Ctrl@Vision 100 в последних проектах ООО «ЛокоТех-Сигнал» используется дообученная модель детекции с архитектурой YOLOv5.

Эта модель применялась, в частности, для обработки изображений, полученных при испытаниях маневрового тепловоза ТЭМ5Х на экспериментальном кольце ВНИИЖТ в январе и мае текущего года.

Второй метод – *семантическая сегментация (Semantic Segmentation)* – позволяет выделять элементы на изображении дорожной обстановки. Принцип работы сегментационных моделей заключается в определении принадлежности каждого пикселя изображения к определенному типу объекта, что дает возможность получить на выходе четкие контуры объектов, а не рамки вокруг них. В проектах ООО «ЛокоТех-Сигнал» указанный метод используется для выделения рельсовой колеи. В качестве архитектуры модели была выбрана HardNet, которая в силу более эффективного использования памяти дает возможность обрабатывать изображения с большим, чем у других типов архитектур, разрешением без потери производительности. Сравнить точность сегментации архитектур моделей и используемую ими при этом видеопамять (в гигабайтах) позволяет **рис. 2**. Точность сегментации определя-

ется мерой IoU, представляющей собой отношение площади перекрытия предсказанных масок к общей площади предсказанных и ожидаемых масок. Пример сегментации показан на **рис. 3**.

Третий метод предназначен для *выделения направления из маски сегментированного пути*. В технических решениях разработки ООО «ЛокоТех-Сигнал» для удаления эффекта перспективы используется линейный алгоритм преобразования с помощью матриц перевода. Порядок действий следующий. После получения из сегментационной модели маски всех видимых путей (**рис. 4, а**) с помощью стандартных функций OpenCV убирается эффект перспективы (**рис. 4, б**). Затем трансформированная матрица скелетизируется и алгоритмически находятся места разветвлений железнодорожной колеи (**рис. 4, в**). Вслед за этим на основе маски рельс и положения острияков (или балансира) определяется путь движения по стрелке. Завершающий этап – проекция получившегося пути на маску дороги (**рис. 5**).

В заключение хотелось бы отметить, что определение пути следования локомотива позволяет сфокусировать ресурсы бор-

тового вычислителя локомотива на той части кадра, где требуется проанализировать обстановку. На текущий момент решение задачи поиска траектории позволило разработчикам компании увеличить число обрабатываемых кадров в секунду и, следовательно, снизить время реакции системы на обнаруженные события. В перспективе это планируется использовать при выявлении потенциальных угроз, находящихся вне габарита подвижного состава, например человека или автомобиля, движущегося наперерез локомотиву и потенциально способного столкнуться с ним.

Накопленный опыт позволил специалистам ООО «ЛокоТех-Сигнал» в сжатые сроки разработать и внедрить опытные образцы системы Ctrl@Vision 100 на маневровом тепловозе ТЭМ5Х и тепловозах нескольких крупных промышленных предприятий. Дальнейшее развитие продукта заключается в его адаптации под конкретные требования заказчиков, в том числе для объектов с постоянно меняющейся инфраструктурой (например, горно-обогатительных комбинатов), городского транспорта (трамваев, метро), пригородных электропоездов, хозяйственного

Рис. 1

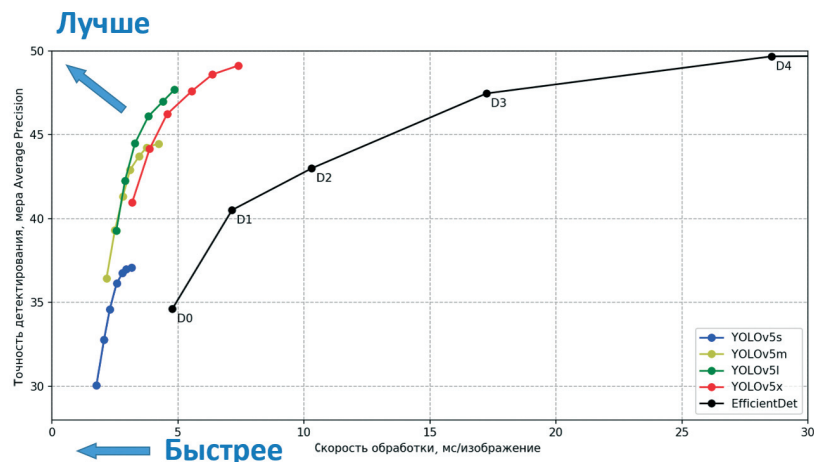
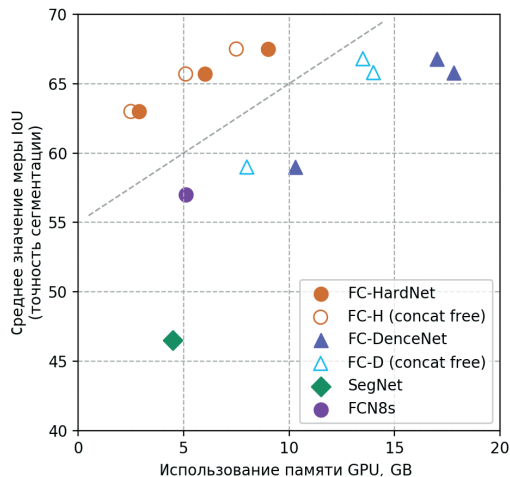
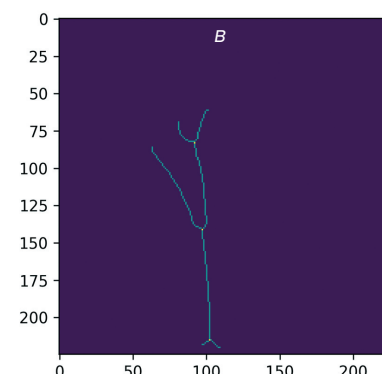
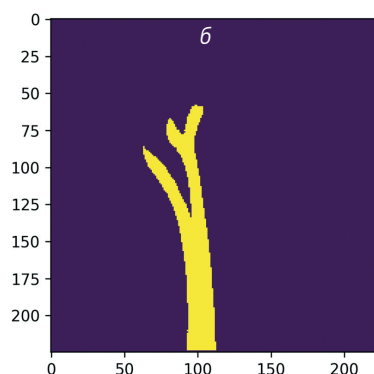
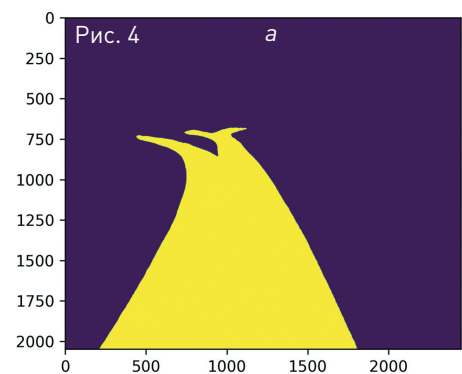
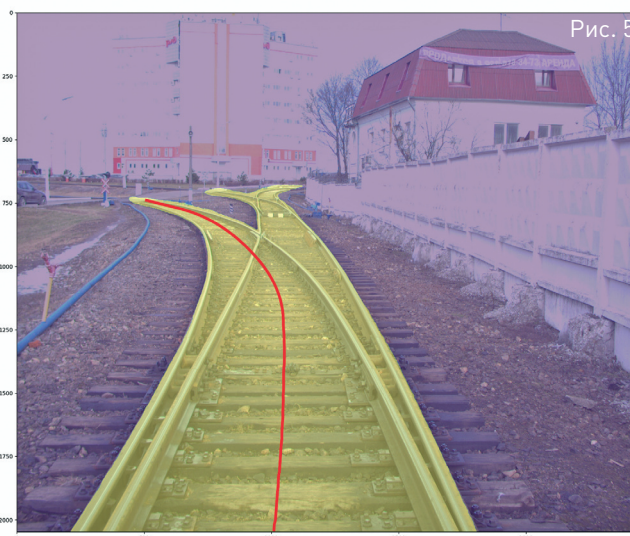
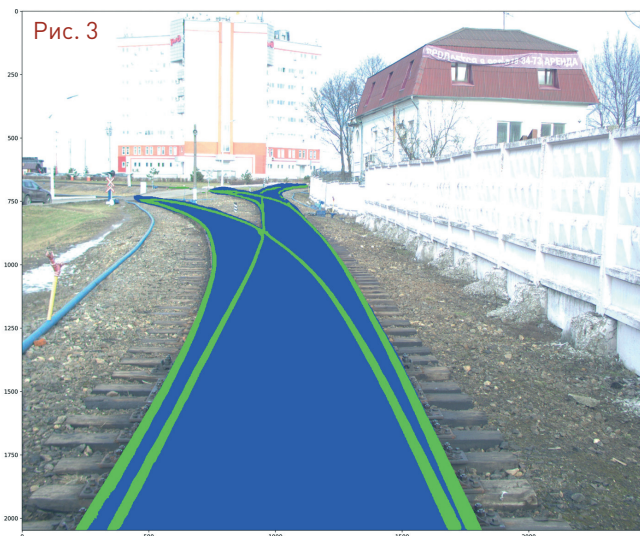


Рис. 2





рельсового транспорта и магистральных локомотивов. На основе являющегося базовым продуктом Ctrl@Vision 100 построен следующий уровень системы — Ctrl@Vision 200, необходимый для перехода на дистанционное управление тяговыми единицами. Эта система в варианте с переносным пультом уже была успешно апробирована для тепловоза ТЭМ5Х.

К основным функциям системы Ctrl@Vision 200 относятся управление тягой, торможением, реверсированием, подачей звуковых сигналов, подачей песка. На текущий момент прорабатывается техническое решение для дистанционного управления одновременно группой локомотивов со стационарного пульта.

В дорожную карту разработки линейки продуктов Ctrl@Vision заложена амбициозная цель — организация полностью автоматического управления локомотивами без машинистов на борту. Для этого в систему Ctrl@Vision должны поступать информация от систем железнодорожной автоматики и телемеханики (о занятости (свободности) путей, положении стрелок и др.), а также данные от других систем, применяющихся на конкретном объекте. Для реализации этих функций компания «ЛокоТех-Сигнал» имеет в своем портфеле продуктов целое семейство микропроцессорных систем Ctrl@Lock.

Компания активно занимается разработками в области машинного зрения. Так, в текущем году

на базе ООО «ЛокоТех-Сигнал» был создан Центр компетенций по машинному зрению в машиностроении. На базе университета в г. Иннополисе (Республика Татарстан) компания открывает инженеринговый центр, где будет создаваться современное программное обеспечение в рамках реализации беспилотного движения поездов на метрополитене Казани.

ООО «ЛокоТех-Сигнал» предлагает своим заказчикам сделать шаг в будущее цифровых технологий, внедрив инновационные разработки для обеспечения высокой надежности работы и эффективности функционирования систем в соответствии с современными требованиями и мировыми стандартами.