

Применение методов машинного обучения для управления процессом дефектоскопии железнодорожного полотна

А. Н. Субботин
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
alesu1543@gmail.com

В. С. Жданов
Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I
zhdanovA186@yandex.ru

Аннотация. В данной статье представлено описание применения методов машинного обучения для управления процессом дефектоскопии железнодорожного полотна. Рассказано о новых возможностях вычислительной техники, позволяющих уточнить повреждения для путевого обходчика. Предложен новый способ взаимодействия специалиста с диагностической информацией с применением Интернета Вещей. Дано описание архитектуры по трем стандартам на этапе проектирования. Разработано приложение для смартфона. Доказана эффективность применения туманных вычислительных сред и облачных технологий для распознавания повреждений железнодорожного полотна с помощью машинного обучения. Приводятся конкретные примеры.

Ключевые слова: машинное обучение; туманные вычислительные среды; дефектоскопия железнодорожного полотна; ультразвуковая диагностика; обработка видеoinформации; Интернет Вещей

I. ВВЕДЕНИЕ

Впервые дефектоскоп был изобретен путевым обходчиком Карпова Ф.М., который по звуку от удара молотка по рельсу понимал внутреннее состояние и возможные трещины, скрытые от глаз человека. Впоследствии профессор Усенко в 1928 году придумал более автоматический способ дефектоскопии с помощью ультразвука, где отражающая волна показывала состояние рельс. В 1935 году изобретатель С.Я. Соколов придумал сквозное просвечивание металла, которое гарантированно помогало найти не только внешние дефекты рельс, но и определить внутреннюю структуру в процессе эксплуатации железнодорожного полотна, которые не были найдены изначально. Например, такие как: трещины, шлаковые включения, пустоты, ошибки при сварочных работах.

Три основных метода диагностики состояния рельс:

- ультразвуковая;
- магнитная;
- визуальная.

В данный момент разработаны не только приборы, а целые комплексы для дефектоскопии, такие как «Профиль», который может рассчитывать уклоны, радиус кривых, отображать информацию на экране монитора и предоставлять распечатки. Допускается передача данных по Bluetooth с фиксацией координат и характера повреждений. С 2004 года ОАО «Тверской вагоностроительный завод» строит целые вагоны, оборудованные техникой для дефектоскопии железнодорожного полотна. Аналогичная ситуация наблюдается и в других странах. Так, например, в ФРГ производится легкая тележка Draisine 300 для ультразвуковой и магниторезонансной диагностики полотна. В США применяется машина-дефектоскоп (фирмы Herzog Services и Pandrol Jackson) и локомотив-дефектоскоп для диагностики внутреннего состояния рельс, но и в России на базе машины УАЗ с возможностью работать с любым типом шпал.

II. ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время, существуют проблемы с безопасностью на железной дороге, как от сотрудников, так и от случайных посетителей, которые занимаются не своим делом. Была проанализирована статистика поврежденных железнодорожного полотна, которые можно разделить на два класса:

- дефекты, полученные в результате производства, строительства и эксплуатации;
- случаи хулиганства и террористической угрозы.

Не редки случаи на железной дороге, когда деформация рельс произошла по независящим ни от кого причинам. Например, повреждение в результате проезжающего под мостом грузового автомобиля со строительными материалами, которому удалось одним ударом сдвинуть плиту железнодорожного моста, искривить рельсы, что гарантированно привело бы к катастрофе. В Новой Зеландии произошел исключительный случай, когда было искривление рельс от землетрясения. У нас, в России возможна похожая ситуация в сейсмически опасных районах.

Бывали случаи умышленных террористических актов, порчи железнодорожного оборудования: стрелок, креплений, электрики, систем автоматизации. Все это может предотвратить своевременная дефектоскопия железнодорожного полотна.

Основная проблема таких установок – это точность исследования. Нужно гарантированно найти дефект, вовремя исправить и сообщить диспетчеру для принятия мер, в случае необходимости. Вторая проблема – это мобильность и моральное устаревание техники. Неизбежно требуется использование новых методов для дефектоскопии, в том числе с применением технологий искусственного интеллекта, основанного на машинном обучении.

III. СПОСОБ РЕШЕНИЯ

Требуется именно комплексный подход в дефектоскопии железнодорожного полотна, включающий в себя ультразвуковой метод, визуальный с применением машинного обучения. Для этого будет применяться видеочамера высокой точности Panasonic HC-V730, которая будет закреплена на тележке дефектоскопа. Полученный видеопоток будет анализироваться в облаке с туманной вычислительной средой. Первое выбрано потому, что скорость обработки видеoinформации несравнимо высока по сравнению с ПК или встроенной компьютере Raspberry Pi, Milandr. А туманная среда поддерживает надежность всей системы, сокращая задержки при обработке видеoinформации в облаке.

Применяется теория расписаний, суть которой в том, что если один облачный сервер занят для обработки видеoinформации, то управляющая программа в туманной вычислительной среде выбирает более подходящий вычислительный сервер [1, 10, 12, 13, 14]. Получается высоконадежный, производительный кластер, устойчивый к задержкам и обеспечивающий сохранность информации не только в облаке, но и в системе в целом.

Достигается максимальная эффективность выбранного способа решения, используя кумулятивный подход, когда решающее значение для дефектоскописта не ультразвуковая диагностика рельс, а система искусственного интеллекта, основанная на принципах машинного обучения [1, 2, 4].

IV. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Вероятность определения дефектов железнодорожного полотна будет уточнена с помощью библиотеки машинного обучения TensorFlow v2.3.0, которая будет подключена в среде разработки программ Qt Designer [7]. Сама разработка будет вестись на языке C++ с подключением библиотек Qt (<https://www.qt.io/download>). Приложение под Android OS будет разработано в программной среде Android Studio 2.1.1 (<https://android-studio.ru/>) от программного и поискового гиганта Google.

Приложение состоит из двух модулей: управляющая программа в туманной среде и программа для обработки видеозображений на облачном сервере [3, 5, 6]. Первый модуль разработан на Java, а второй на Qt. Работа всей

системы построена по принципу сигналов: когда поступает сигнал от одного устройства, начинает работать другое устройство или компонент [8, 9, 11, 12]. Взаимодействие осуществляется по протоколу HTTP, поскольку он разрешен практически во всех системах и не будет проблем с правами доступа в облачную систему и туманную вычислительную среду. После получения сигнала, происходит обмен сообщениями в формате XML, погрузка в формате JSON с применением web-технологий: PHP, JavaScript, jQuery.

Применяются OpenSource библиотеки сетевого взаимодействия Everest 1.7.3 и Sinopsis 2.0.1 с поддержкой всех известных сетевых протоколов, что обеспечит гибкость приложения на этапе проектирования.

Планируется применение большого алгоритма из комбинаций инструментов машинного обучения, требующих большие вычислительные мощности. Это не только глубокое обучение, рекуррентные нейронные сети, временное дообучение модели, динамическое редактирование датасета и модели отвергнутых снимков, составленные специалистами-экспертами.

Согласно американскому стандарту TOGAF для описания архитектур систем, должно присутствовать четыре компонента: бизнес-структура, архитектура данных, архитектура приложений, технологическая архитектура. На уровне бизнес-структуры наша система сократит расходы; на уровне архитектуры данных – все данные будут храниться в СУБД PostgreSQL в облаке, а приложение будет работать на смартфонах и в туманных вычислительных средах, что является архитектурой приложений. Технологическая архитектура включает взаимодействие, структуру и логику программного обеспечения на уровне сети, сервера и процессов по принципу сигналов и теории расписаний, в нашем случае.

Нашу систему можно квалифицировать по стандарту ISO 15288, где целевой системой является мобильное приложение, системой в эксплуатационной среде является программное обеспечение устройства дефектоскопии, обеспечивающей системой является облако и туманные вычислительные среды.

Согласно стандарту описания архитектуры DoDAF 2.0.2 операционным представлением является информация (видеозображение железнодорожного полотна и рельс) для специалиста-дефектоскописта и путевого обходчика, системным представлением является программное обеспечение устройства дефектоскопии, техническим представлением являются облачные технологии, туманные вычислительные среды и разработка мобильного приложения.

V. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Мы разработали приложение для специалиста по дефектоскопии железнодорожного полотна или путевого обходчика. Специалист может наблюдать в удобном для него виде на экране планшета или смартфона дефекты рельс, которые были уточнены с помощью машинного обучения (рис. 1). Под главным изображением размещены кнопки управления: ERROR, MARK, ATTENTION,

которые позволяют заявить в управляющую систему о трех состояниях: ошибки определения, положительном результате и неопределенной ситуации, требующей дальнейшего уточнения. Сохраняется километраж, который будет передан путевому обходчику. Предоставляется возможно выхода в главное меню приложения для дополнительных настроек и кнопка NOTE, предназначенная для заметок о предполагаемом дефекте железнодорожного полотна.

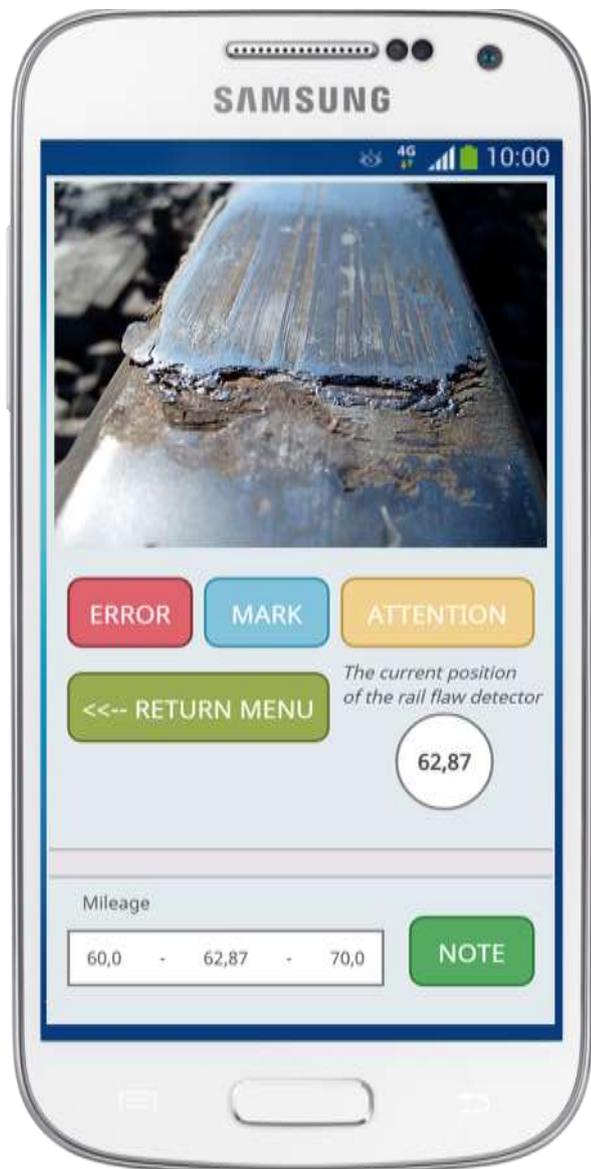


Рис. 1. Приложение для смартфона под Android для наблюдения за состоянием железнодорожного полотна

Далее, будут рассмотрены вопросы эффективности приложения и всей системы. В качестве критериев эффективности выбраны следующие параметры:

- сокращение задержек при работе с облачными серверами по сравнению с ПК с применением туманных вычислительных сред;

- повышение точности определения дефектов, благодаря применению искусственного интеллекта, основанного на машинном обучении;
- удовлетворённость приложением от специалистов, удобством использования, эргономикой по сравнению с другими системами определения дефектов железнодорожного полотна.

ТАБЛИЦА I УМЕНЬШЕНИЕ ЗАДЕРЖЕК

| Уменьшение задержек с применением туманных вычислительных сред (в разы) | | | | | |
|---|----------|--------|-------|---------|----------------|
| Период экспериментов | ПК | Облако | Туман | Граница | Туман и облако |
| 03-09 мая ^a | 1382 мс. | 1,27 | 3,68 | 0,52 | 4,27 |
| 10-16 мая | 1049 мс. | 2,73 | 4,42 | 0,37 | 4,98 |
| 17-23 мая | 1153 мс. | 3,81 | 5,17 | 0,26 | 5,73 |
| 24-30 мая | 1012 мс. | 2,93 | 4,83 | 0,32 | 5,17 |
| 31-06 июня | 1089 мс. | 3,54 | 5,09 | 0,28 | 5,26 |

^a Выпад из общей динамики объясняется праздниками

Благодаря применению нашего метода, состоящего из распределенной туманной вычислительной среды и высокопроизводительной облачной системы, нам удалось повысить скорость обработки видеoinформации в 5 (5,082) раз для машинного обучения.

ТАБЛИЦА II ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФФЕКТОВ

| Таблица повышения точности определения дефектов с применением машинного обучения (в процентах) | | | | |
|--|--------|----------------|-----------|-------------------|
| Название дефекта | УЗ | Магнит.-резон. | Визуально | Машинное обучение |
| Выкрашивание | 284 шт | 5,4% | 8,42% | 14,83% |
| Выкол | 79 шт | 3,7% | 5,29% | 10,6% |
| Трещина | 128 шт | 9,35% | 14,9% | 17,2% |
| Излом | 37 шт | 14,6% | 17,81% | 23,5% |
| Износ | 62 шт | 12,32% | 15,1% | 19,7% |
| Смятие | 35 шт | 7,2% | 8,5% | 11,3% |
| Сплыв | 12 шт | 1,67% | 3,72% | 5,72% |
| Коррозия | 73 шт | 6,284% | 9,71% | 13,8% |
| Мех. поврежд. ^a | 19 шт | 4,71% | 8,19% | 12,71% |

^b Все виды механических повреждений

Применение машинного обучения рассматривается в данном случае не отдельно, а в комплексе с ультразвуковой диагностикой, магнитно-резонансной и визуально-акустической, достигая при этом 32,01 % от базового значения. Именно комплексный подход в поиске дефектов оказался максимально эффективным, в отличие от магнитно-резонансного метода (7,25 %) и визуально-акустического (10,18 %) по отдельности. Для машинного обучения доля составила 14 % (14,58).

ТАБЛИЦА III ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ОТЗЫВЫ

| Доля положительных отзывов от специалистов-дефектоскопистов (в процентах) | | | |
|---|--------|--------|-------------------|
| Должность | Облако | Туман | Машинное обучение |
| Дефектоскопист ^a | 56% | 64,2% | 78,2% |
| Путевой обходчик | 78% | 83% | 84,79% |
| Стрелочник | 93% | 96% | 97,3% |
| Дежурный по станции | 62% | 71% | 73,8% |
| Дежурный по перезду | 79% | 83,41% | 85,91% |

^c Основная должность по обязанностям

Среднее значение положительных отзывов от использования машинного обучения в комплексе туманных и облачных вычислений составило 84 %, что говорит о том, что эргономика и удобство использования программ с помощью смартфона или планшета нравится большинству и требует дальнейшего развития.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены методы удаленной обработки видеоизображений с применением облачных технологий и туманных вычислительных сред применительно к дефектоскопии железнодорожного полотна с сокращением времени обработки в 5 раз, повышения точности определения дефектов средствами машинного обучения на 14 % и положительных отзывов от специалистов, доля которых составила более 84 %.

Авторами статьи разработано приложение для смартфона для обработки видеоизображений на виртуальных машинах с применением облачных технологий и туманных вычислительных сред. Рассмотрены этапы работы программы, раскрыты отдельные детали. Приведены конкретные примеры работы программы применительно к предметной области железнодорожному полотну и выявлению дефектов рельс.

Задача обработка видеоизображений средствами туманных вычислений является актуальной и для многих предметных областей. Так, например, в процессе дефектоскопии железнодорожного полотна может возникнуть необходимость распознавания дефектов пассажирских платформ и последующего их ремонта. Разработанная программа также может использоваться в метрополитене, узкоколейной железной дороге и прочих поврежденных металлических конструкций и вышек электросвязи, дальней связи и электропередачи. В заключении подводится итог исследования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи выражают благодарность Октябрьской железной дороге (<https://ozd.rzd.ru/>), Петербургскому метрополитену (<http://www.metro.spb.ru/>) и СПИИРАН (<http://www.spiiras.nw.ru/>) за научную поддержку, возможность проведения исследования и создания статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Aazam M., Huh E. Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things // 2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud, August 2014, pp. 464–470 (2014)
- [2] Bhatia J., Patel T., Trivedi H., Majmudar V. Htv dynamic load balancing algorithm for virtual machine instances in cloud // 2012 International Symposium on Cloud and Services Computing, pp. 15–20. IEEE (2012)
- [3] Rahm E., Do H.H. Data cleaning: problems and current approaches // IEEE Data Eng. Bull. 23, 2000 (2000)
- [4] Saecker M., Markl V. Big Data Analytics on Modern Hardware Architectures: A Technology Survey, pp. 125–149. Springer, Berlin (2013)
- [5] Bonomi F., Milito R., Natarajan P., Zhu J. Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics, pp. 169–186. Springer International Publishing, Cham (2014)
- [6] Sarkar S., Chatterjee S., Misra S. Assessment of the suitability of fog computing in the context of internet of things // IEEE Trans. Cloud Comput. 6(1), 46–59 (2018)
- [7] Yannuzzi M., Milito R., Serral-Graci R., Montero D., Nemirovsky M. Key ingredients in an IoT recipe: fog computing, cloud computing, and more fog computing. // 2014 IEEE 19th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), December 2014, pp. 325–329 (2014)
- [8] Huang C., Lu R., Choo K.-K.R. Vehicular fog computing: architecture, use case, and security and forensic challenges // IEEE Commun. Mag. 55(11), 105–111 (2017)
- [9] Tanwar S., Tyagi S., Kumar N. Multimedia Big Data Computing for IoT Applications: Concepts, Paradigms and Solutions, vol. 163. Springer (2019)
- [10] Jaykrushna A., Patel P., Trivedi H., Bhatia J. Linear regression assisted prediction based load balancer for cloud computing. // 2018 IEEE Punecon, pp. 1–3. IEEE (2018)
- [11] Bhatia J., Dave R., Bhayani H., Tanwar S., Nayyar A. Sdn-based real-time urban traffic analysis in vanet environment. // Comput. Commun. 149, 162–175 (2020)
- [12] Bhatia J., Modi Y., Tanwar S., Bhavsar M. Software defined vehicular networks: a comprehensive review. // Int. J. Commun. Syst. 32(12), e4005 (2019)
- [13] Dastjerdi A.V., Gupta H., Calheiros R.N., Ghosh S.K., Buyya R. Fog computing: principles, architectures, and applications. CoRR, abs/1601.02752 (2016)
- [14] Liu Y., Fieldsend J.E., Min G. A framework of fog computing: architecture, challenges, and optimization. IEEE Access 5, 25445–25454 (2017)