

4. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/21fcb5ff5b429a80b88f9293abfe6b298ba05833/ (дата обращения 13.09.2021).

5. *Алехин Г.Г.* Анализ аварийных ситуаций на теплоэлектростанциях / Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций» (26 октября 2018 г. Железногорск). – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 231-236.

6. Анализ аварийных ситуаций на теплоэлектростанциях. – URL: <http://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/analiz-avariynyh-situatsiy-na-teploelektrostantsiyah> (дата обращения 15.09.2021).

7. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 сентября 2015 года № 365 «Об утверждении руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420302830> (дата обращения 15.09.2021).

Балакина Е.П., Кулагин М.А., Логинова Л.Н., Сидоренко В.Г.

Обеспечение безопасности применения речевых технологий в работе оперативного персонала городских рельсовых транспортных систем

Аннотация: Работа посвящена вопросам применения в работе интеллектуальной системы управления оперативного персонала городских рельсовых транспортных систем речевых технологий, которые имеют большое значение в задачах обучения персонала, при оценке результатов их работы и квалификации. Анализ распознанной информации имеет большое значение при решении задач обеспечения безопасности движения. Внедрение речевых технологий при распознавании голосовых команд существенно облегчит процесс взаимодействия инструктора и обучаемого с

Интеллектуальной системой прогнозирования, планирования и анализа работы диспетчеров городских рельсовых транспортных систем.

Ключевые слова: безопасность движения, речевые технологии, нейронные сети, машинное обучение, голосовые команды, распознавание, транспортная система

Основным направлением развития городских рельсовых транспортных систем (ГРТС) является переход к беспилотным технологиям и реализация принципов зеленой энергетики. Эти направления обеспечивают повышение безопасности ГРТС. Переход к беспилотным технологиям проходит поэтапно, базируется на использовании методов машинного обучения и технологий *Big Data*, которые строятся на анализе человеческого опыта [1]. В связи с этим актуальным является внедрение современных, в том числе и речевых, технологий в процесс автоматизированного централизованного управления ГРТС.

Интеллектуальная система управления (ИСУ) ГРТС включает в себя несколько специализированных систем, каждая из которых направлена на решение задач управления тем или иным видом ресурсов. Интеллектуальные системы прогнозирования, планирования и анализа работы операторов транспортных средств и диспетчеров ГРТС в рамках автоматизации процесса управления кадрами и их профессиональной подготовкой решают родственные задачи применительно к разным категориям сотрудников:

- обучение персонала;
- оценка качества подготовки персонала и его квалификации;
- оценка качества управления объектами ГРТС и выполнения работ;
- создание графика работы персонала.

При решении задач обучения персонала, оценки результатов их работы и квалификации большое значение имеет анализ речевой информации [2, 3]. Одновременно анализ этой информации значим и при решении задач обеспечения безопасности ГРТС: при построении систем контроля и управления доступом, проверке правомочности подачи команд управления в рамках решения задач многофакторной идентификации, верификации и различения дикторов [4]. Рассмотрению различных аспектов применения

речевых технологий в работе оперативного персонала ГРТС и посвящена данная работа.

Внедрение подсистемы распознавания голосовых команд существенно облегчит процесс взаимодействия инструктора и обучаемого с Интеллектуальной системой прогнозирования, планирования и анализа работы диспетчеров ГРТС.

К основным направлениям использования результатов обработки информации о голосовых командах, подаваемых оперативным персоналом, относятся:

- распознавание голосовых команд, подаваемых оперативным персоналом, и запись их в текстовый файл;
- использование текстового архива для анализа занятия и составления отчета о проведении занятия;
- получение информации о подаваемых командах, частоте и последовательности их подачи для дальнейшего использования в ходе автоматизации диспетчерского управления;
- распознавание команд из текстового или аудиофайла с целью автоматизации их выполнения в рамках функционирования средств электронного обучения;
- использование собранной информации для генерации голосовых команд в рамках функционирования средств электронного обучения;
- перенос накопленных результатов в ИСУ ГРТС в рамках централизованных систем управления движением транспортных средств при достижении достаточного уровня надежности.

К подсистеме распознавания голосовых команд предъявляются следующие требования:

- распознавание фраз независимо от их построения;
- информирование о поданной команде;
- передача команды на исполнение;
- протоколирование голосовых команд в текстовых и аудио файлах;
- автоматическое заполнение электронных приказов;
- наличие оборудования рабочих мест диспетчера напольными педалями для симплексной организации системы передачи информации;
- дополнение рабочего места инструктора сигнализацией исполнения голосовой команды;

– возможность отключения исполнения голосовой команды диспетчера инструктором;

– наличие перечня предусмотренных команд для ознакомления с ним обучаемого до тренировочного занятия.

В рамках исследования использовалась открытая модель по распознаванию русского языка, которая включает в себя скрытые марковские модели, модель смеси гауссовских распределений, глубокие нейронные сети, а именно Time-Delay Neural Networks (TDNN). Данная модель была выбрана на основе результата сравнительного анализа как модель, которая показывает самую высокую точность распознавания, по скорости работы незначительно проигрывая конкурентам. Данная модель и построенная на ее основе система для распознавания речи Kaldi подходит для научных исследований больше, чем ее аналоги [5-7].

Целью создания подсистемы распознавания голосовых команд является автоматизация процесса управления движением транспортных средств (ТС) при обучении оперативных работников (обучаемый – диспетчер) ГРТС путем автоматизированного распознавания голосовых команд диспетчера для исключения механического взаимодействия с пультом управления, которое приведет к уменьшению количества ошибок обучаемого.

В качестве основного требования к разрабатываемой системе выступает точность и надежность модуля преобразования аудиофайла в текст, а также точность разбиения текста на реплики диспетчера и других работников. Система включает модули классификации текста по типу команды, поиска команд в тексте, поиска субъектов и станций в тексте.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработан классификатор текста по типу сообщения в нем. Каждое из предложений может быть отнесено к одному из возможных классов: информационное сообщение, управляющая команда, приказ, нераспознанное сообщение.

Для решения задачи классификации предложений используется сверточная нейронная сеть. На вход нейронной сети поступает матрица размером 36×300 , где размер 36 – это количество токенов (слов) в предложении (глубина текста), а 300 – глубина вектора эмбеддинга для каждого слова. Преобразование

слова в числовой вектор осуществляется на основе использования предобученной на корпусе литературного текста нейронной сети (размер корпуса более 150Гб). Глубина текста была выбрана исходя из 0,9-квантиля статистического распределения количества слов в предложении в собранном множестве данных.

В результате обучения нейронной сети классификации предложений на протяжении 100 итераций обучения была достигнута точность прогноза порядка 94-96% на тестовой выборке. Данный результат позволяет достаточно точно определять класс текста.

2. Сформирован классификатор управляющих команд.

Структура команд может включать в себя следующие элементы:

- субъект – адресат (может быть один на несколько команд);
- объект, на управление которым направлена команда, сценарий поведения которого она задает;
- непосредственно команда;
- уточнение места или времени, определяющих конкретную реализацию команды.

Разработана семантическая сеть, отражающая связи элементов в команде.

Команды можно классифицировать по объекту управления (команды управления маршрутами, команды управления стрелками и сигналами и т.д.) и типу действий (запрет на движение, разрешение на движение и др.).

3. Разработан алгоритм классификации команд диспетчера на основе обработки текста.

Алгоритм состоит из следующих шагов:

- формируется классификатор возможных видов эталонных команд, в котором каждое слово в команде представляется в виде числового вектора на основе предобученной нейронной сети;
- для каждого слова в тексте вычисляется числовой вектор на основе предобученной нейронной сети;
- каждая эталонная команда «скользящим окном» проходит по тексту и вычисляет расстояние между матрицей эталонного вектора и участком анализируемого текста с использованием метрики;
- в случае, если расстояние между эталонным текстом и

окном меньше заданного порога t (в рамках текущего исследования использовался порог $t = 0.5$), то система выдает информацию о том, что команда найдена в тексте.

Оценку качества предложенного метода распознавания слитной речи проведем по следующим показателям:

- доля правильно распознанных команд;
- доля ошибочно распознанных команд;
- доля нераспознанных команд.

В результате проведенных исследований получены следующие показатели качества распознавания слитной речи: 98,3% правильно распознанных команд, 0,5% ошибочно распознанных команд, 1,2% нераспознанных команд.

4. Разработана структурная схема подсистемы распознавания голосовых команд, которая включает элементы, реализующие следующие действия:

- генерация аудиофайлов;
- преобразование аудиофайла в текст;
- разделение диалога на блоки-предложения, которые используются для классификации;
- лемматизация;
- нормализация текста;
- эмббединг;
- классификация текста по типу сообщения в нем – отнесение каждого из предложений к одному из возможных классов: информационное сообщение, управляющая команда, приказ, нераспознанное сообщение;
- классификация текста внутри класса путем расчета метрики между входным текстом и вектором эталонных примеров;
- поиск наименования субъектов, объектов, уточнения места или времени в тексте на основе информации о классе команды;
- в случае, если сообщение требует выполнения команды и реализации конкретных действий, данные о команде поступают на вход блоков управления и исполнения средств электронного обучения.

В дальнейшем планируется проверка работы разработанных алгоритмов на увеличенном объеме данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-37-51001

Acknowledgments. The reported study was funded by RFBR, Sirius University of Science and Technology, JSC Russian Railways and Educational Fund “Talent and success”, project number 20-37-51001

Литература:

1. *Алексеев В.М., Баранов Л.А., Кулагин М.А., Сидоренко В.Г.* Построение архитектуры интеллектуальной системы управления городской рельсовой транспортной системой // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. – № 1 (92). – С. 18-46.
 2. *Баранов Л.А., Сидоренко В.Г., Балакина Е.П., Логинова Л.Н.* Интегрированный подход в обучении оперативных работников городских рельсовых транспортных систем // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 2. – С. 22-31.
 3. *Горелик В.Ю., Краишкин А.В.* Увеличение надежности работы диспетчера по управлению движением за счет дополнительного канала передачи информации // Наука и техника транспорта. – 2005. – № 1. – С. 78-81.
 4. *Шалимов И.А., Милошенко А.А.* Обзор моделей идентификации и информативные параметры речевого сигнала // Специальная техника. – 2009. – №5. – С. 37-46.
 5. *Khromov S.K., Kulagin M.A., Sidorenko V.G.* Machine Learning Application For Support For Automated Control Systems Users / Journal of Physics: Conference Series. – Volume 1680. – Computer-Aided Technologies in Applied Mathematics. – 2020. – P. 012019.
 6. *Беленко М.В., Балакишин П.В.* Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – №. 4-4 (58). – С. 13-18.
 7. *Марковников Н.М., Купяткова И.С.* Аналитический обзор интегральных систем распознавания речи // Труды СПИИРАН. – 2018. – №3(58). – С. 77-110.
-