

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

ПОДХОД К КЛАССИФИКАЦИИ ИМЕН СОБСТВЕННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ КОМАНД ДИСПЕТЧЕРА

Аннотация. В настоящее время распространение и актуализация использования систем машинного обучения открывают новые горизонты использования систем речевого распознавания во всех областях промышленности, в том числе в железнодорожном транспорте, где предъявляются особо повышенные требования к безопасности пассажиров. Авторами проведен обзор актуальных патентов существующих систем распознавания речи, выделены возможные связи между патентами. В работе также рассматривается возможное использование трансферного обучения для повышения производительности распознавания речи диктора. Исходя из анализа литературы, сформулирована цель исследований как разработка алгоритма распознавания команд устойчивого к шумам и независимого от диктора. В рамках данной статьи рассматривается решение задачи классификации имен собственных с использованием мел-частотных кепстральных коэффициентов и сверточной нейронной сети. Авторы приводят анализ результатов обучения нейронной сети на тестовой выборке для разного количества мел-частотных кепстральных коэффициентов.

Ключевые слова: распознавание речи, патент, машинное обучение, трансферное обучение, мел-частотные кепстральные коэффициенты, матрица ошибок.

Для цитирования: Подход к классификации имен собственных для системы распознавания команд диспетчера / В. Г. Сидоренко, Е. П. Балакина, Л. Н. Логинова, М. А. Кулагин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 175–183. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_175.

Введение

Системы голосового управления, которые являются новейшими технологиями XXI века, набирают все больший оборот в развитии и распространении. Несмотря на то, что первые разработки систем голосового управления были представлены еще в 50-х годах XX века, в настоящее время в использовании находятся многочисленные системы от голосового управления телефоном до управления автомобилем. Система распознавания речи лежит в основе систем голосового управления, разработкой и адаптацией которых занимаются многие ученые в России и за рубежом. Развитие технологии искусственного интеллекта послужило причиной к совершенствованию систем распознавания речи. Реализация простейшего голосового помощника является в настоящее время довольно простой задачей, если разработчик обладает навыком программирования на одном из распространенных языков программирования.

Анализ патентов систем распознавания речи

В настоящее время в России более 100 компаний занимаются разработкой систем искусственного интеллекта (ИИ), в том числе разработкой систем распознавания речи на основе технологий ИИ. Для того, чтобы оценить современный технический уровень и устремленность развития систем распознавания речи в рамках рассматриваемой работы, авторы воспользовались изучением патентного фонда, который является хранилищем важных источников информации [1]. Анализируя названия организаций заявителей и фамилии авторов изобретений, можно выявить организации-лидеры, работающие над совершенствованием соответствующих систем распознавания речи. Обзор изобретений, проведенный авторами, представлен на рис. 1.

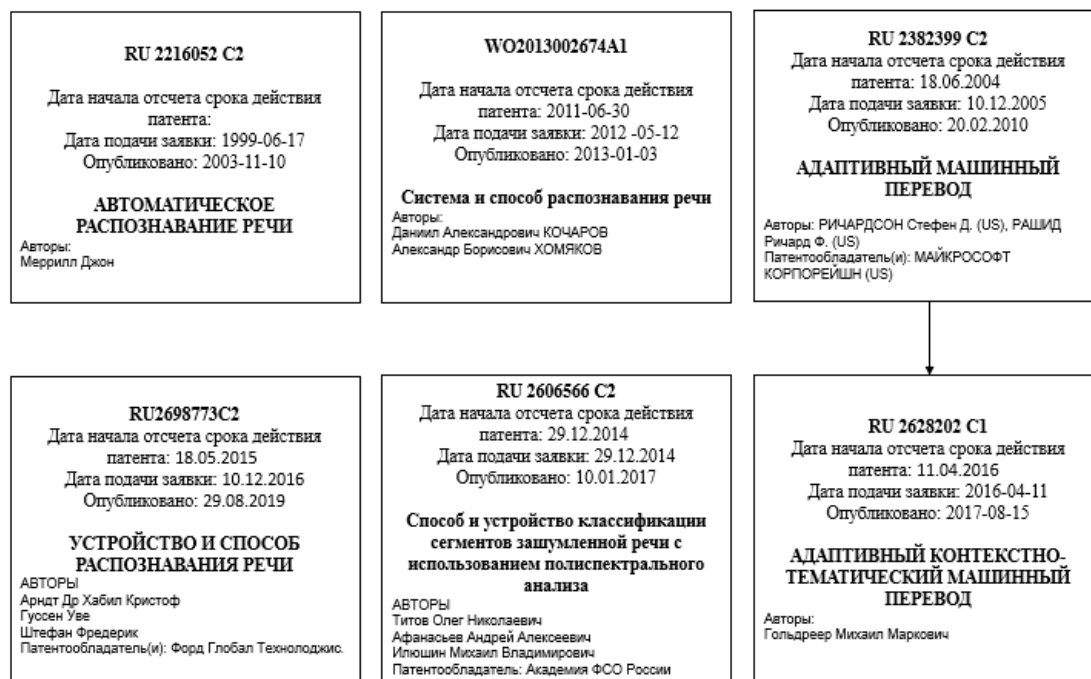


Рис. 1. Обзор патентов систем, предназначенных для распознавания речи

Стоит отметить, что присутствуют системы распознавания речи, применяемые при управлении программными средствами компьютера с помощью произносимых команд (см. рис. 1 – изобретение RU2216052C2). В соответствии с одним из аспектов данного изобретения способ распознавания речи предусматривает обеспечение речевого механизма некоторым словарем наборов команд. Разработаны системы, которые в качестве способа распознавания речи содержат операцию соотнесения речевых единиц с идентификатором (см. рис. 1 – изобретение RU2216052C2) [2].

В работе [3] проведен обзор патентов систем, посвященных разным аспектам распознавания дикторонезависимой слитной речи, систем, повышающих точность машинного перевода, и др. Так, например, изобретение WO2013002674A1 относится к распознаванию речи и обеспечивает распознавание слитной речи в режиме реального времени в сочетании с компактной системой его реализации и высокой точностью, вне зависимости от специфических особенностей разных языковых систем, независимо от особенностей речи диктора [3]. Изобретение RU2382399C2 компании Microsoft, по заявлениям авторов, повышает точность машинного перевода с помощью получения пробного перевода, принятия информации для коррекции, которая конфигурируется так, чтобы провести коррекцию хотя бы одной ошибки в пробном переводе. Конечный этап работы рассматриваемой системы предоставляет информацию для снижения вероятности того, что эта ошибка будет повторяться в последующих предоставляемых системой переводах [4].

Изобретение RU2628202C1 повышает точность перевода с языка пользователя на иностранный язык, используется для повышения его универсализации, для экономии вычислительных мощностей. Автор утверждает, что предлагаемое изобретение упрощает задачу для автоматической системы машинного перевода тем, что пользователь приспосабливается к ее ограниченным возможностям, задавая для перевода не произвольные тексты целиком, а отдельные фразы, каждая из которых представляет законченный мини-контекст для каждого своего слова и входит в группу фраз, соответствующих определенной теме, которая тоже задается в качестве команды [5].

Рассмотрены изобретения, которые обрабатывают речь в условиях зашумления (см. рис. 1 – RU2606566C2), тем самым повышают достоверность классификации сегментов зашумленной речи по типовым классификационным группам [6]. Изобретение RU2698773C2 относится к аппаратной технике, предназначенной для распознавания речи. Согласно работе [6], изобретение обрабатывает звуковые сигналы пользователя, при этом распознаются фонемы пользователя, производятся сохранение фонем во внешнем блоке памяти, предназначенном только для конкретного пользователя и расположенном вне блока обработки, и автоматическое извлечение сохраненных во внешнем блоке памяти фонем при каждом повторном включении устройства, передачи фонем в блок обработки для использования в обработке последующих звуковых сигналов от пользователя [7]. Следует отметить

наличие связи между двумя патентами RU2382399 C2 и RU2628202 C1, данная связь является следствием того, что патент RU2628202 C1 в некоторой степени основывается на патенте RU2382399 C2.

Анализируя информацию по патентам, можно сделать вывод, что система для распознавания слитной речи оперативных работников транспортной области может быть реализована, однако является сложной задачей [8], которая должна решаться системно, с опорой на существующий опыт.

Трансферное обучение

Актуальной является задача использования нейронной сети, обученной, например, на русском языке, для использования распознавания тех же названий станций метрополитена, произнесенных человеком на другом языке.

При распознавании речи на разных языках несовпадение последних, представленных в обучающем и проверочном наборах, конечно же, приводит к возрастанию частоты ошибок. В таком случае следует использовать трансферное обучение, которое рекомендуется для повышения производительности распознавания речи на разных языках [9]. Трансферное обучение (Transfer Learning) – это вид машинного обучения, при котором модель, обученная на одной задаче, повторно используется для другой, связанной с ней.

Целесообразно провести исследование и выбрать тип трансферного обучения для решения задачи идентификации речи диктора при условии, что диктором может быть носитель различных языковых систем. Рассматривались нескольких факторов, два наиболее важных из них – это размер нового набора данных (маленький или большой) и его сходство с исходным набором данных (например, сходство с архитектурой ImageNet с точки зрения содержания изображений и классов, или очень сильное отличие, например, изображения микроскопа). Принимая во внимание, что функции сверточных сетей (СС) являются более общими на ранних уровнях и более специфичными для исходного набора данных на более поздних уровнях, в работе [10] выработано несколько общих практических правил для навигации по 4 основным сценариям (таблица).

Сценарии трансферного обучения

Новый набор данных		Сценарий
Размер (малый/большой)	Схожесть с исходным набором данных	
малый	похож	обучение линейного классификатора кодам СС
большой	похож	тонкая настройка всей сети
средний	сильные отличия	обучение классификатора SVM на основе активаций нижней части сети
большой	сильные отличия	обучение СС с нуля или использование предварительно обученной модели

Рассмотрим сценарии, представленные в таблице:

1 Новый набор данных мал, отличия от исходного набора данных минимальны. В этом случае не рекомендуется настраивать СС из-за проблем с перенасыщением, а так как данные аналогичны исходным данным, то следует ожидать, что функции более высокого уровня в СС также будут иметь отношение к этому набору данных. Следовательно, лучшей идеей может быть обучение линейного классификатора кодам СС.

2 Новый набор данных велик, отличия от исходного набора данных минимальны. Поскольку данных значительно много, можно быть уверенным в том, что не наступит переобучение, если будет выполнена тонкая настройка всей сети.

3 Новый набор данных мал, но сильно отличается от исходного набора данных. Поскольку данных мало, то, вероятно, лучше всего обучать только линейный классификатор. Поскольку набор данных сильно отличается, может быть не лучшим вариантом обучать классификатор из верхней части сети, которая содержит больше функций, специфичных для набора данных. Вместо этого может быть лучше обучить классификатор SVM на основе активаций нижней части сети.

4 Новый набор данных большой и очень отличается от исходного набора данных. Поскольку набор данных очень большой, следует ожидать, что следует обучить СС с нуля.

В работе [8, 11] указано, что при распознавании речи затруднения вызывает распознавание имен собственных, например, наименований станций метрополитена.

Авторами совместно с обучающимися на кафедре «Управление и защита информации» РУТ(МИИТ) из Китая и Узбекистана были проведены исследования трансферного обучения с использованием наборов данных, содержащих названия некоторых станций метрополитенов городов Москва (Россия, на русском и английском языках), Чжэнчжоу (Китай, на китайском, русском и английском языках), Ташкент (Узбекистан, на узбекском, русском и английском языках). Примеры некоторых из исследованных сигналов представлены на рис. 2.

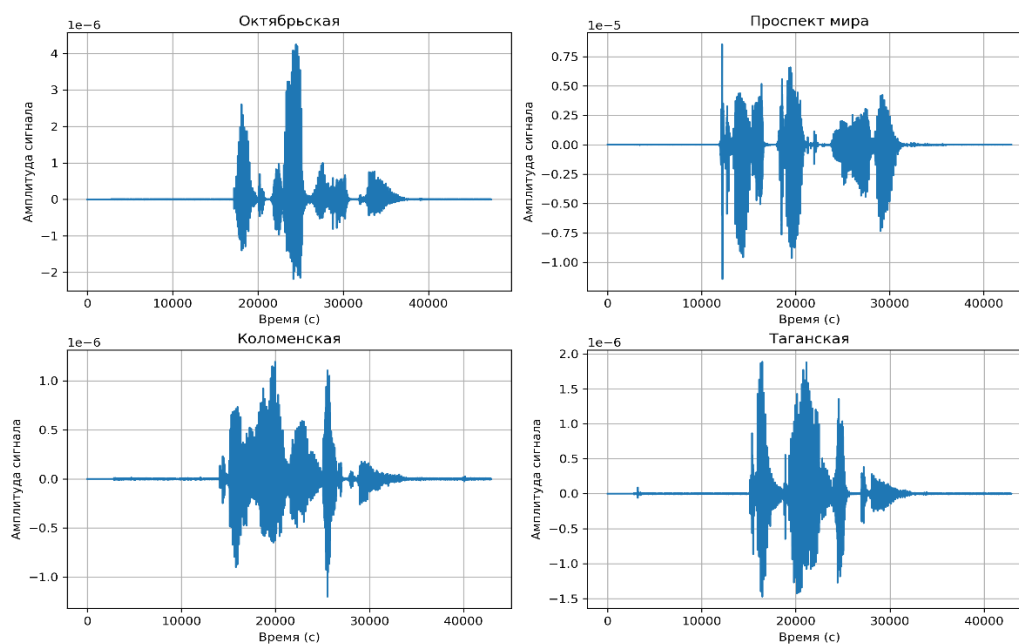


Рис. 2. Примеры аудиосигналов названий станций метрополитена

Для анализа и распознавания полученных данных было разработано программное обеспечение на языке программирования Python в среде Jupyter Notebook. Проведенные исследования показали эффективность применения трансферного обучения для решения поставленных задач.

Постановка задачи и обсуждение результатов

При построении системы распознавания команд диспетчера, представленных в работе [11], необходимо учитывать разнообразие дикторов и влияние внешних шумов на полезный сигнал. При проведении исследования авторами поставлена задача разработки алгоритма многоклассовой классификации названий станций московского метрополитена различными дикторами в условиях ограниченного объема данных.

Этапы решения задачи многоклассовой классификации аудиосигналов включают в себя: сбор и преобразование аудиосигналов, предварительная подготовка аудиозаписей, обучение и использование нейронной сети. Каждый этап стоит из различных научных и инженерных решений, которые требуются для достижения высокой точности классификации аудиосигналов. Рассмотрим каждый этап в отдельности.

Первый этап. Сбор и преобразование аудиозаписей

В рамках первого этапа анализировалась речь 15 дикторов, которые произносили 12 различных наименований станций метрополитена. Всего в обучающем и тестовом наборе использовалось 173 аудиозаписи. Примеры используемых записей представлены на рис. 3. При первичном анализе данных было выявлено наличие шумов и тишины в аудиозаписях у дикторов.

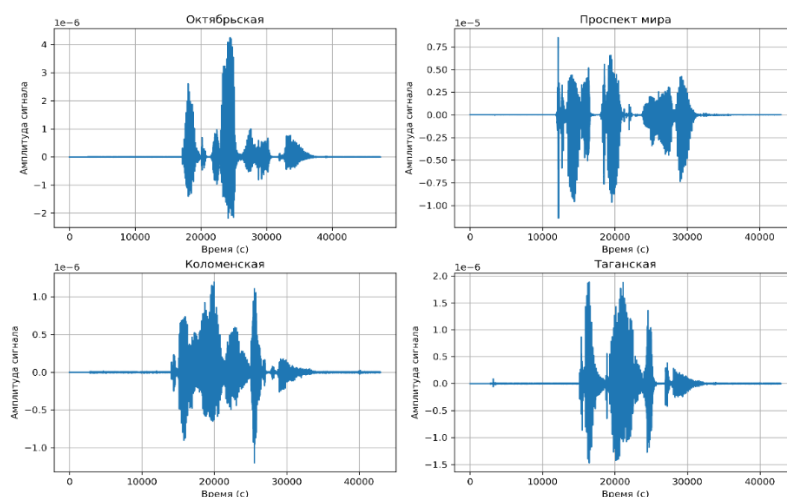


Рис. 3. Примеры аудиосигналов названий станций метрополитена

Второй этап. Предварительная подготовка аудиозаписей

Во втором этапе разработан алгоритм обработки цифрового аудиосигнала и расчета признаков, получаемых из цифрового сигнала. Первоначально для входного сигнала применяется операция «удаления тишины», т. е. зануление сигнала с уровнем менее 30дБ. Данная операция необходима для уменьшения шума в сигнале. После этого производится вычисление мел-частотных кепстральных коэффициентов (MFCC), с помощью которых можно из речевого сигнала получить наиболее значимые речевые характеристики [12].

Процесс вычисления MFCC для входного сигнала состоит из следующих операций:

- 1 Вычисление оконного преобразования Фурье с окном Хэмминга шириной 25 мс (L) и шагом 10 мс. Для каждого окна вычисляется амплитудный спектр – $X(k)$.
 - 2 Вычисление амплитудного спектра мощности, нормированный на длину окна – $|X(k)|^2/L$.
 - 3 Формирование банка фильтров на мел-шкале для каждого окна. В исследовании используется разный размер банка фильтров (N): 10, 16, 24, 32, 64, 96.
 - 4 Вычисление для каждого окна произведения квадрата амплитудно-частотной характеристики каждого фильтра и спектра мощности, полученного на втором шаге, с последующим суммированием коэффициентов получившихся спектров и расчетом энергии внутри соответствующей полосы банка фильтров.
 - 5 Вычисление логарифма от значений энергии на предыдущем шаге.
 - 6 Вычисление дискретного косинусного преобразования от логарифмов коэффициентов.
- Результаты вычисления спектра сигнала и MFCC представлены на рис. 4.

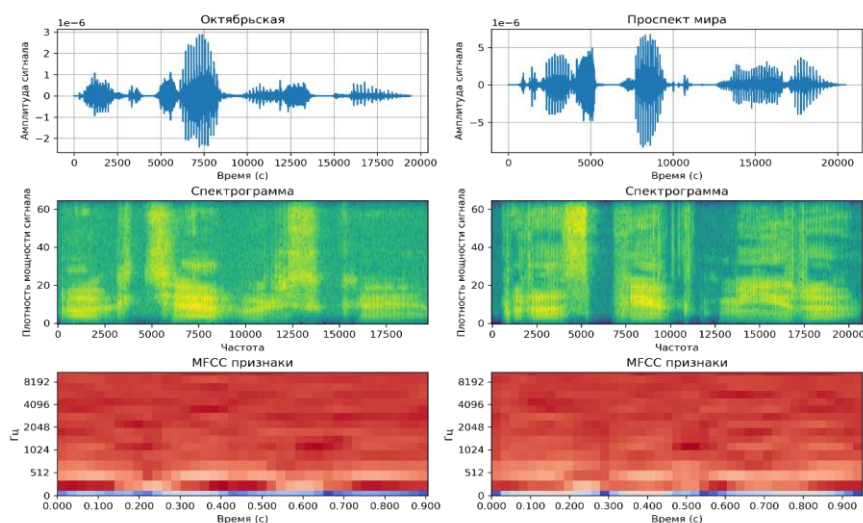


Рис. 4. Примеры спектров и MFCC-коэффициентов для аудиосигналов

В результате вычисления *MFCC* для каждой аудиозаписи формируется матрица размером $N \times M$, где N – количество *MFCC*, а M – количество окон, сформированных в результате оконного преобразования Фурье. Количество окон M для каждой аудиозаписи индивидуальное, поэтому было определен статичный размер окна, который был вычислен, как 0.9 квантиль распределения M по всем аудиозаписям. В исследовании $M = 125$.

Третий этап. Обучение и использование нейронной сети

В рамках третьего этапа была обучена сверточная нейронная сеть. Архитектура нейронной сети в себя включала: четыре сверточных слоя с функцией активации Relu, два слоя Maxpooling, три полносвязанных слоя с функцией активации Relu. Для обучения использовалось 82 940 параметра. В выходном слое было задействовано 12 нейронов и функция активации Softmax. Оптимизация логарифмической функции потерь проводилась с использованием пакетного градиентного спуска. Обучение проходило в течение 500 эпох. Результаты обучения представлены на рис. 5. В качестве метрики использовался критерий точности Accuracy [13].

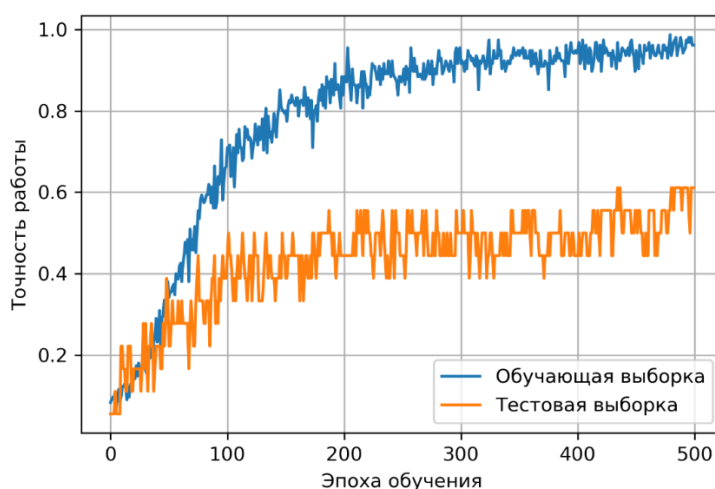


Рис. 5. Результаты обучения на обучающей и тестовой выборках

Кроме этого, был проведен анализ обучения нейронной сети для различного количества *MFCC* (N). Полученные результаты показали, что достаточно 16 или 24 *MFCC* для описания характеристик речевого сигнала.

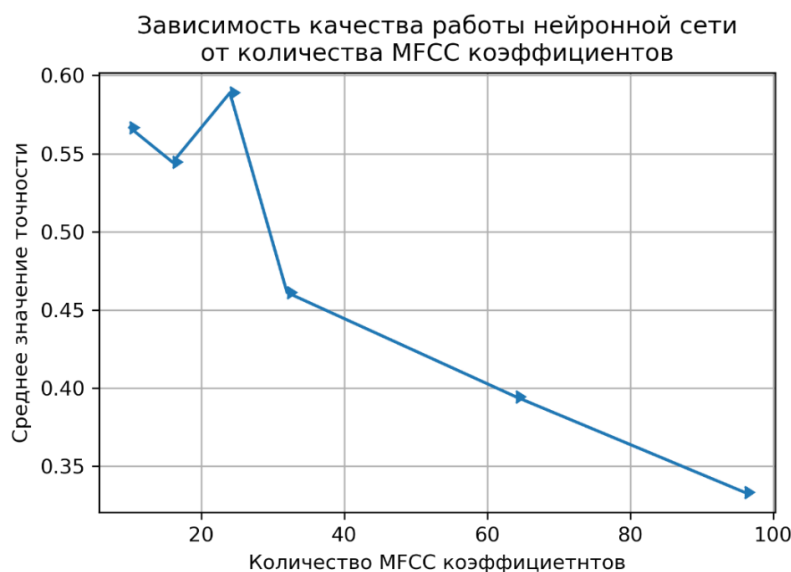


Рис. 6. Анализ обучения нейронной сети для различного количества MFCC

Выводы

Основные результаты статьи:

- представлен обзор патентов систем по распознаванию речи;
- представлены варианты использования трансферного обучения для задачи распознавания речи;
- разработан алгоритм классификации именованных сущностей для станций московского метрополитена;
- проведен анализ результатов обучения нейронной сети для разного количества MFCC;
- выявлено, что для описания речи в рамках поставленной задачи достаточно 16 или 24 MFCC коэффициента.

В качестве перспектив развития представленного исследования планируется: разработка алгоритма поиска ключевых слов и имен собственных в слитной речи; анализ эффективности разработанного алгоритма; разработка алгоритма адаптивного шумоподавления; реализация дикторонезависимых и устойчивых к шумам систем распознавания команд.

Список литературы

1 **Васильев, А. С.** Анализ патентов как фактор исследования технического уровня развития техники на примере щековых дробилок / А. С. Васильев, Н. С. Крупко // Инженерный Вестник Дона. – 2016. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-patentov-kak-faktor-issledovaniya-tehnicheskogo-urovnya-razvitiya-tehniki-na-primere-schekovyh-drobilok> (дата обращения: 27.05.2022).

2 **Патент № 2216052C2 Российская Федерация, МПК G10L 15/22, G10L 15/02(2006.01), G10L 15/26.** Автоматическое распознавание речи / Д. Меррил. – № 2001104348/09 ; заявл. 17.06.1999 ; опубл. 10.11.2003.

3 **Патент № WO2013002674A1 Международное бюро, МПК G10L 15/187 (2013.01), G10L 25/78 (2013.01).** Система и способ распознавания речи / Д. А. Кочаров, А. Б. Хомяков. – Заявл. 12.05.2012 ; опубл. 03.01.2013, Бюл. № 1. – С. 35.

4 **Патент №2382399C2 Российская федерация, МПК G06F 17/28 (2006.01).** Адаптивный машинный перевод / С. Д. Ричардсон, Р. Ф. Рашид. – № 2004118671/09 ; заявл. 18.06.2004 ; опубл. 20.02.2010, Бюл. № 5. – С. 36.

5 **Патент №2628202C1 Российская федерация, МПК G06F 17/28 (2006.01).** Адаптивный контекстно-тематический машинный перевод / М. М. Гольд्रेер. – № 2016113939; заявл. 11.04.2016; опубл. 15.08.2017, Бюл. № 23. – С. 13.

6 **Патент № 2606566C2 Российская федерация, МПК G10L 15/08 (2006.01), G10L 15/00 (2013.01).** Способ и устройство классификации сегментов зашумленной речи с использованием полиспектрального анализа / О. Н. Титов, А. А. Афанасьев, М. В. Илюшин. – № 2014154081 ; заявл. 29.12.2014 ; опубл. 20.07.2016, Бюл. № 1. – С. 3

References

1 **Vasiliev, A. S.** Analysis of patents as a factor in the study of the technical level of development of technology on the example of jaw crushers / A. S. Vasiliev, N. S. Krupko // Engineering Bulletin of the Don. – 2016. – No. 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-patentov-kak-faktor-issledovaniya-tehnicheskogo-urovnya-razvitiya-tehniki-na-primere-schekovyh-drobilok> (date of access: 05.27.2022).

2 **Patent No. 2216052C2 Russian Federation, IPC G10L 15/22, G10L 15/02(2006.01), G10L 15/26.** Automatic speech recognition / D. Merrill. – No. 2001104348/09 ; declaration 06.17.1999 ; publ. 11.10.2003.

3 **Patent No. WO2013002674A1 International Bureau, IPC G10L 15/187 (2013.01), G10L 25/78 (2013.01).** System and method of speech recognition / D. A. Kocharov, A. B. Khomyakov. – Declaration 12.05.2012 ; publ. 03.01.2013 ; Bull. No. 1. – P. 35.

4 **Patent No. 2382399C2 Russian Federation, IPC G06F 17/28 (2006.01).** Adaptive machine translation / S. D. Richardson, R. F. Rashid. – No. 2004118671/09 ; declaration 06.18.2004 ; publ. 02/20/2010, Bull. No. 5. – P. 36.

5 **Patent No. 2628202 C1 Russian Federation, IPC G06F 17/28 (2006.01).** Adaptive context-thematic machine translation / M. M. Goldreer. – No. 2016113939 ; declaration 04.11.2016 ; publ. 08.15.2017, Bull. No. 23. – P. 13.

6 **Patent No. 2606566C2 Russian Federation, IPC G10L 15/08 (2006.01), G10L 15/00 (2013.01).** Method and device for classifying segments of noisy speech using polyspectral analysis / O. N. Titov, A. A. Afanasiev, M. V. Ilyushin. – No. 2014154081 ; declaration 12.29.2014 ; publ. 07.20.2016, Bull. No. 1. – P. 3.

7 Патент № 2698773C2 Российская федерация, МПК G10L 15/07 (2013.01), G10L 15/22 (2006.01), G10L 15/28 (2013.01). Устройство и способ распознавания речи / К. Арндт Хабил, У. Гуссен, Ф. Штефан. – № 2015118431 ; заявл. 18.05.2015 ; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34. – С. 2

8 Речевые технологии в обучении оперативного персонала городских рельсовых транспортных систем / Е. П. Балакина, М. А. Кулагин, В. Г. Сидоренко, Л. Н. Логинова // Качество. Инновации. Образование. – 2022. – № 3 (179). – С. 36–48. – DOI 10.31145/1999-513x-2022-3-36-48.

9 **Chu, Chzhn.** Technical description of multilingual and interlingual speech recognition / Chzhn Chu. – URL: <https://www.21ic.com/article/828871.html> (date of access: 07/29/2022).

10 Stanford Vision and Learning Lab. CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition. – URL: <https://cs231n.github.io/transfer-learning> (date of access: 07/30/2022).

11 Обеспечение безопасности применения речевых технологий в работе оперативного персонала городских рельсовых транспортных систем / Е. П. Балакина, М. А. Кулагин, Л. Н. Логинова, В. Г. Сидоренко // Проблемы управления безопасностью сложных систем : Материалы XXIX международной научно-практической конференции, Москва, 15 декабря 2021 года. – Москва : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2021. – С. 355–361. – DOI 10.25728/iccsc.2021.94.35.056.

12 **Иванов, И. И.** Анализ метода мел-частотных кепстральных коэффициентов применительно к процедуре голосовой аутентификации // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 10-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metoda-mel-chastotnyh-kepstralnyh-koeffitsientov-primenitelno-k-protsedure-golosovoy-autentifikatsii> (дата обращения: 06.02.2023).

13 **Mitchell, T.** Machine Learning / T. Mitchell. – Redmond : McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997. – 432 p. – ISBN 0070428077.

7 Patent No. 2698773C2 Russian Federation, IPC G10L 15/07 (2013.01), G10L 15/22 (2006.01), G10L 15/28 (2013.01). Device and method of speech recognition / K. Arndt Habil, W. Goossen, F. Stefan. – No. 2015118431 ; declaration May 18, 2015 ; publ. 12.10.2016, Bull. No. 34. – P. 2.

8 Speech technologies in training operational personnel of urban rail transport systems / Balakina, E. P., Kulagin, M. A., Sidorenko, V. G., Loginova, L. N. // Quality. Innovation. Education. – 2022. – No. 3 (179). – P. 36–48. – DOI 10.31145/1999-513x-2022-3-36-48.

9 **Chu, Chzhn.** Technical description of multilingual and interlingual speech recognition / Chzhn Chu. – URL: <https://www.21ic.com/article/828871.html> (date of access: 07.29.2022).

10 Stanford Vision and Learning Lab. CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition. – URL: <https://cs231n.github.io/transfer-learning> (date of access: 07.30.2022).

11 Security of the use of speech technologies in the work of operational personnel of urban rail transport systems / E. P. Balakina, M. A. Kulagin, L. N. Loginova, V. G. Sidorenko // Problems of managing the safety of complex systems: Proceedings of the XXIX International Scientific and practical conference, Moscow, December 15, 2021. – Moscow : Institute of Management Problems. V. A. Trapeznikova RAN, 2021. – P. 355–361. – DOI 10.25728/iccsc.2021.94.35.056.

12 **Ivanov, I. I.** Analysis of the method of chalk-frequency cepstral coefficients in relation to the procedure of voice authentication // Actual problems of the humanities and natural sciences. – 2015. – No. 10-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metoda-mel-chastotnyh-kepstralnyh-koeffitsientov-primenitelno-k-protsedure-golosovoy-autentifikatsii> (date of access: 02.06.2023).

13 **Mitchell, T.** Machine Learning / T. Mitchell. – Redmond: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997. – 432 p. – ISBN 0070428077.

V. G. Sidorenko, E. P. Balakina, L. N. Loginova, M. A. Kulagin

AN APPROACH TO CLASSIFYING PROPER NAMES FOR THE DISPATCHER COMMAND RECOGNITION SYSTEM

Abstract. Currently, the spread and actualization of the use of machine learning systems are opening up new horizons for the use of speech recognition systems in all areas of industry, including railway transport, where particularly high requirements for passenger safety are imposed. The authors conducted a review of current patents of existing speech recognition systems, highlighted possible links between patents. The paper also discusses the possible use of transfer learning to improve the speaker's speech recognition performance. Based on the analysis of the literature, the research goal is formulated as the development of a noise-resistant

and speaker-independent command recognition algorithm. Within the framework of this paper, the solution of the problem of classifying proper names using low-frequency kepsstral coefficients and a convolutional neural network is considered. The authors present an analysis of the results of neural network training on a test sample for a different number of low-frequency kepsstral coefficients.

Keywords: speech recognition, patent, machine learning, transfer learning, low-frequency kepsstral coefficients, error matrix.

For citation: An approach to classifying proper names for the dispatcher command recognition system / V. G. Sidorenko, E. P. Balakina, L. N. Loginova, M. A. Kulagin // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 1. – P. 175–183. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_175.

Сведения об авторах

Сидоренко Валентина Геннадьевна

Российский университет транспорта (МИИТ),
кафедра «Управление и защита информации»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: valenfalk@mail.ru

Балакина Екатерина Петровна

Российский университет транспорта (МИИТ),
кафедра «Управление и защита информации»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: balakina_e@list.ru

Логина Людмила Николаевна

Российский университет транспорта (МИИТ),
кафедра «Управление и защита информации»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: ludmilanv@mail.ru

Кулагин Максим Алексеевич

Российский университет транспорта (МИИТ),
кафедра «Управление и защита информации»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: maksimkulagin06@yandex.ru

Information about the authors

Sidorenko Valentina Gennadievna

Russian University of Transport (MIIT),
Chair «Control and Information Security»,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
e-mail: valenfalk@mail.ru

Balakina Ekaterina Petrovna

Russian University of Transport (MIIT),
Chair «Control and Information Security»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: balakina_e@list.ru

Loginova Lyudmila Nikolayevna

Russian University of Transport (MIIT),
Chair «Control and Information Security»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: ludmilanv@mail.ru

Kulagin Maxim Alekseyevich

Russian University of Transport (MIIT),
Chair «Control and Information Security»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: maksimkulagin06@yandex.ru