



«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО

«РГРТУ» им. В.Ф. Уткина

М.В. Чиркин

« 31/04 » 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» на диссертацию Кандауровой Екатерины Олеговны на тему «Разработка метода интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

1. Актуальность темы исследования

В последнее время в системах связи наблюдается дефицит радиочастотного ресурса в связи с ростом количества абонентов, трафика и требований к качеству обслуживания пользователей. Для решения задачи обеспечения эффективного использования радиочастотного ресурса при развитии современных систем связи предусматривается использование полос радиочастотного спектра, выделяемых не только путем лицензирования, но и без получения лицензии, но с условием соблюдения прав и предотвращения помех лицензионным пользователям. Наиболее перспективным методом обеспечения эффективности использования радиочастотного ресурса является организация динамического доступа к спектру в рамках концепции когнитивных систем связи. В настоящее время существует несколько методов внедрения систем когнитивного радио, однако до сих пор не ведется детальное исследование каждого из них с целью обоснования выбора наиболее эффективного технического решения.

Соискатель ученой степени в своей работе разработала алгоритмы интеллектуального распределения свободного частотного ресурса, позволяющего уменьшить время предоставления доступа к частотным каналам и снизить вероятность создания помех для лицензированных пользователей.

В диссертационной работе Кандауровой Е.О. решена задача повышения эффективности использования радиочастотного спектра путем разработки метода перестройки рабочих частот нелицензированных пользователей с использованием

Вход. № 31/24
« 05 » 04 2024 г.
подпись

интеллектуальных технологий анализа данных. Одновременно с этим, предложенный автором интеллектуальный метод перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио не требует переработки известных систем связи или внедрения новых узлов связи. Поэтому, диссертационная работа Кандауровой Е.О. является безусловно актуальной для дальнейшего развития современных сетей.

2. Структура и основные результаты работы

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель работы и решаемые задачи, указаны научная новизна и значение полученных соискателем результатов для практики, представлены сведения о структуре работы и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В **первом** разделе рассмотрена модель реализации систем когнитивного радио с использованием программно-определяемых радиоустройств, проведен анализ существующих методов динамического доступа к спектру, включающий в себя анализ методов обнаружения свободных участков радиочастотного спектра и анализ методов их предоставления нелицензированным пользователям. Выполнена постановка и формализация задачи научного исследования, а также представлена структурная схема разработанного метода интеллектуальной перестройки рабочих частот.

Во **втором** разделе диссертации описаны существующие и предложены новые алгоритмы оценки состояния занятости спектра, обработки и хранения данных мониторинга, предоставления частотного ресурса нелицензированному пользователю. Проведен анализ существующих и предложен новый алгоритм прогнозирования состояния занятости спектра с использованием искусственных нейронных сетей.

В **третьем** разделе представлена разработка модели искусственной нейронной сети для прогнозирования состояния занятости спектра, а также результаты сравнения оценки точности прогнозирования разработанной модели с существующими. Приведена программная реализация разработанных алгоритмов и представлены полученные результаты: исследования эффективности алгоритма оценки состояния спектра, оценки эффективности алгоритмов предоставления частотного ресурса нелицензированному пользователю, экспериментального исследования реализованного метода.

В **заключении** сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

3. Научная новизна работы

Научная новизна работы заключается в:

- **новом** методе интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио, обеспечивающим предоставление вторичному пользователю доступа к радиочастотному спектру при заданной вероятности постановки помех первичному пользователю;

- **разработке** алгоритма оценки и формирования статистики занятости спектра, учитывающего условие априорной неопределенности при обнаружении сигналов первичного пользователя и динамическое изменение значения отношения сигнал/шум, отличающегося от известных тем, что позволяет повысить вероятность обнаружения сигналов первичного пользователя, тем самым уменьшая вероятность создания вторичным пользователем помех для первичного пользователя;

- **разработке** вычислительно эффективного алгоритма предоставления частотного ресурса вторичному пользователю, отличающегося от известных тем, что позволяет снизить время, затрачиваемое на осуществление предоставления доступа;

- **разработке** алгоритма прогнозирования состояния занятости спектра с использованием нейронных сетей, обеспечивающего повышение точности прогнозирования состояния спектра на 9% и снижение времени обучения при выполнении долгосрочного прогнозирования по сравнению с существующими алгоритмами.

4. Теоретическая значимость работы состоит в разработке нового метода интеллектуальной перестройки рабочих частот вторичных пользователей в системах когнитивного радио с использованием искусственных нейронных сетей и технологий Big data для снижения вероятности создания устройством вторичного пользователя помех для первичного пользователя и снижения времени, необходимого для предоставления доступа вторичному пользователю к свободному радиоканалу, тем самым увеличив эффективность использования радиочастотного спектра

5. Практическая ценность работы заключается в возможности использования разработанных алгоритмов, апробированных на натуральных экспериментах с использованием реальных SDR устройств, в устройствах систем когнитивного радио.

6. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность проведенных соискателем научных положений, исследований, результатов и выводов подтверждается аргументированностью и доказательностью предложенных алгоритмов и моделей, корректностью применения математического аппарата и согласованностью результатов, полученных с помощью аналитических расчётов, численного моделирования и натурального эксперимента.

7. Личный вклад автора

Все выносимые на защиту результаты и положения, составляющие основное содержание диссертационной работы, разработаны и получены автором лично.

8. Соответствие работы заявленной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

9. Апробация результатов работы

Диссертационная работа обсуждалась со специалистами в сфере радиотехники, радиосвязи и телекоммуникаций на международных всероссийских конференциях. Уровень апробации результатов диссертации, а также полнота их отражения в публикациях в отечественных периодических научных изданиях представляются вполне достаточными и удовлетворяют требованиям положения о присуждении ученых степеней. Материалы диссертационной работы были обсуждены на 7 научных конференциях. Автор опубликовал результаты своих диссертационных исследований в 2 рецензируемых изданиях ВАК, получил 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

10. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы рекомендуется использовать при разработке систем когнитивного радио.

11. Замечания по диссертационной работе

1. Основные положения, выносимые на защиту, сформулированы достаточно точно с выделением отличительных особенностей разработанных алгоритмов и их эффективности. Вместе с тем, их доказательство по ходу изложения содержания диссертационной работы не столь последователь-

но. Следовало бы более четко их разделять, может быть по отдельным главам и, соответственно, в заключении каждой главы.

2. Известно, что одной из главных проблем в задачах обнаружения является выбор порога, тем более адаптивного. Не ясно, как на стр. 55 диссертации выбираются постоянные a и b .
3. Следовало бы на каждом из цветных рисунков 11, 21-25 указывать, к чему относится каждый цвет.
4. В качестве аппаратной платформы для реализации предложенного алгоритма прогнозирования состояния спектра с использованием рекуррентной искусственной нейронной сети автором выбран графический процессор, но не представлено обоснование выбора конкретной модели используемого графического процессора.
5. При проведении имитационного моделирования для получения зависимости вероятности пропуска цели от ОСШ автор указал количество экспериментов равное 100, что является недостаточным для получения вероятностей пропуска цели на уровне 10^{-4} .

12. Общее заключение по работе

Вышеприведённые замечания не снижают ценность и общую положительную оценку выполненного диссертационного исследования. Несомненным достоинством данной работы является использование для решения поставленных задач искусственных нейронных сетей и многочисленных экспериментальных исследований на их основе.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, и имеет значение для развития радиотехнических систем. Работа написана на хорошем научном уровне. Автореферат диссертации достаточно полно и корректно отражает содержание исследования. В автореферате четко сформулированы цель исследования, научная задача, основные положения и выводы. Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук и соответствует пунктам 2 и 6 паспорта специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автор диссертации, Кандаурова Екатерина Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических

наук по указанной специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на кафедре телекоммуникаций и основ радиотехники Рязанского государственного радиотехнического университета имени В.Ф. Уткина 03 апреля 2024 года, Протокол № 4

Зав. кафедрой телекоммуникаций

и основ радиотехники,

д.т.н., профессор



Витязев Владимир Викторович

Подпись Витязева Владимира Викторовича заверяю

Ученый секретарь

Ученого совета ФГБОУ ВО

«РГРТУ им. В.Ф. Уткина», к.ф-м.н.



Бухенский Кирилл Валентинович

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический
Университет имени В.Ф. Уткина»

Россия, 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Тел.: (4912) 72-03.03

E-mail: rgrtu@rsreu.ru