

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук Тоискина Василия Евгеньевича на диссертацию соискателя ученой степени кандидата технических наук Кандауровой Екатерины Олеговны, выполненную на тему: «Разработка метода интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио» и представленную к защите по специальности 2.2.15. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Развитие современных технологий беспроводных систем связи повышает требования к использованию радиочастотного спектра. В то время как ограниченность частотного ресурса приводит к противоречию между числом обслуживаемых абонентов и качеством предоставляемых им услуг, сохраняются лицензионные участки спектра, которые в некоторые моменты времени могут быть не задействованы для осуществления услуг связи. В таком случае имеется возможность использования таких свободных на неопределенный промежуток времени участков спектра, что в свою очередь позволит увеличить эффективность использования радиочастотного ресурса и разрешить вышеуказанное противоречие. Концепция когнитивных систем связи подразумевает использование нелицензированными или вторичными пользователями временно свободных радиоканалов для осуществления собственных сеансов связи. Несмотря на то, что существует ряд работ российских и зарубежных ученых посвященных разработке алгоритмов динамического распределения частотного ресурса в системах когнитивного радио, вопрос разработки интеллектуального метода динамического доступа к спектру остается нераскрытым. Таким образом, с одной стороны, существует объективная необходимость повышения эффективности использования радиочастотного ресурса за счет предоставления временно свободных участков спектра вторичным пользователям, с другой стороны имеется несовершенство научно-методического аппарата интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио, что не позволяет разработать научно-обоснованные предложения по повышению эффективности использования радиочастотного спектра.

Вход. № 18/24
«20» 03 2024г.
подпись Зин

Из вышеизложенного следует, что тема диссертационной работы Кандауровой Е.О., посвященная разработке метода интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио, является **актуальной**.

В ходе проведения диссертационного исследования автором получены новые научные положения, обладающие теоретической и практической значимостью и выдвигаемые на защиту, а именно:

- разработанный алгоритм оценки состояния занятости спектра позволяет снизить вероятность создания вторичным пользователем помех для первичного пользователя на 4-11 % при заданной вероятности ложной тревоги 10^{-2} по сравнению с известным алгоритмом оценки на основе энергетического обнаружителя;

- разработанный алгоритм предоставления частотного ресурса вторичному пользователю, в отличие от алгоритма без учета разреженности исследуемых данных, обеспечивает выигрыш по количеству вычислительных операций до 46 раз и выигрыш по среднему времени выполнения до 60 раз, что позволяет уменьшить время, необходимое для предоставления доступа вторичному пользователю к частотному ресурсу;

- разработанный алгоритм прогнозирования состояния спектра с использованием рекуррентной искусственной нейронной сети позволяет снизить среднюю абсолютную ошибку прогнозирования на 9 % и обладает меньшим временем обучения нейронной сети (на 5-26 %) при прогнозировании на 100 шагов вперед по сравнению с нерекуррентными искусственными нейронными сетями прогнозирования временных рядов.

Научная новизна полученных лично автором результатов заключается в том, что:

- разработан метод интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио, обеспечивающий предоставление вторичному пользователю доступа к радиочастотному спектру при заданной вероятности постановки помех первичному пользователю;

- разработан вычислительно эффективный алгоритм предоставления частотного ресурса вторичному пользователю, отличающийся от известных тем, что позволяет снизить время, затрачиваемое на осуществление предоставления доступа;

- разработан алгоритм прогнозирования состояния занятости спектра с использованием нейронных сетей, обеспечивающий повышение точности прогнозирования состояния спектра на 9% и снижение времени обучения при выполнении долгосрочного прогнозирования по сравнению с существующими алгоритмами.

Проведенный соискателем обзор известных трудов в области беспроводных систем отечественных и зарубежных авторов (что подтверждается соответствующими ссылками по тексту диссертации) и анализ методов динамического доступа к спектру в системах когнитивного радио, а также экспериментальное исследование предложенного метода интеллектуальной перестройки рабочих частот позволяют считать **обоснованными научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации.**

Теоретическая значимость работы состоит в разработке нового метода интеллектуальной перестройки рабочих частот вторичных пользователей в системах когнитивного радио с использованием искусственных нейронных сетей для снижения вероятности создания устройством нелегитимного пользователя помех для легитимного пользователя, а также снижения времени, необходимого для предоставления доступа к свободному радиоканалу. **Практическая значимость** работы заключается в возможности использования разработанных алгоритмов, апробированных на натурных экспериментах с использованием реальных радиоустройств, в системах когнитивного радио.

Представленные в работе результаты диссертации являются **достоверными**, что обусловлено корректностью постановки частных задач исследования, аргументированностью и доказательностью предложенных алгоритмов, корректностью применения математического аппарата и согласованностью результатов, полученных с помощью аналитических расчётов, имитационного моделирования и натурального эксперимента, а также обоснованностью основных предположений, ограничений, допущений и исходных данных для расчетов.

Обобщая замечания по диссертации и автореферату, их можно свести к следующим:

1. Из текста диссертации не ясно, реализация разработанных автором алгоритмов возможна только в рассмотренном диапазоне частот 390-490 МГц или в других диапазонах тоже.

2. В тексте диссертации упоминается проблема скрытого узла при обнаружении когнитивного радиоустройства первичного пользователя, однако не ясно как это потом учитывается в разработанных автором алгоритмах.

3. В заключении диссертации не приведены направления дальнейших исследований.

В целом, однако, отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не наносят существенного ущерба значимости результатам диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне.

Диссертация написана на хорошем научном уровне и аккуратно оформлена. Основные выводы и результаты диссертации докладывались на представительных научно-технических конференциях и опубликованы в 9 научных трудах, в числе которых 2 статьи в рецензируемых изданиях, 7 в изданиях индексируемых в Web of Science и SCOPUS, а также получены 8 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ. Таким образом, требование об опубликовании полученных результатов в рецензируемых научных изданиях выполнено.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации и позволяет сформировать обоснованное представление по всей работе в целом, а содержание диссертации соответствует пунктам 2 и 6 паспорта специальности 2.2.15. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

ВЫВОДЫ

1. Диссертация Кандауровой Екатерины Олеговны является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи по разработке метода и алгоритмов интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио, позволяющих сократить вычислительные затраты и повысить оперативность предоставления нелицензированным пользователям доступа к радиочастотному спектру при заданной вероятности постановки помех лицензированному пользователю, имеющей важное значение для развития систем когнитивного радио.

2. По актуальности избранной темы, степени обоснованности научных

положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверности и новизне, а также значимости полученных результатов диссертация полностью удовлетворяет критериям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор, Кандаурова Е.О., заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Доцент кафедры «Автоматизированные системы боевого управления» Филиала федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации в г. Серпухове, кандидат технических наук

Тоискин Василий Евгеньевич

«11» марта 2024 г.

142204, г. Серпухов, б-р 65 лет Победы, д.17, кв. 130.

Тел.: 8-985-161-12-62

e-mail: vetoiskin@mail.ru

Подпись доцента кафедры «Автоматизированные системы боевого управления» Филиала федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации в г. Серпухове, кандидат технических наук Тоискина Василия Евгеньевича, заверяю.

Начальник отдела кадров Филиала федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации в г. Серпухове

подполковник



И.В. Теплов