ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 7

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ МНОГОКАНАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ РАДИОКОНТРОЛЯ

Мухамедаминов Азиз Одилжон угли
ООО UNICON.UZ , инженер 1 категории
E-mail: a.muxamedaminov@unicon.uz
Гатаулина Альмира Рафаиловна
ООО UNICON.UZ , заместитель начальника САЭМС
E-mail: a.gataulina@unicon.uz
Писецкий Юрый Валерьевич
Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, профессор кафедры «Технологии мобильной связи» факультета "Радио и мобильной связи",
Электронная почта: yuriy.pisetskiy@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений с использованием многоканальных систем радиоконтроля. Актуальность исследования обусловлена стремительным ростом количества радиотехнических средств, расширением спектра беспроводных технологий и увеличением плотности радиоизлучений в различных диапазонах частот. В условиях сложной электромагнитной обстановки особое значение приобретает повышение точности оперативности и достоверности обнаружения сигналов, а также эффективная локализация их источников. Целью работы является анализ принципов функционирования многоканальных систем радиоконтроля и разработка подходов к повышению эффективности обработки сигналов в реальном времени. Рассматриваются методы пространственно-временной обработки сигналов, алгоритмы цифровой фильтрации, спектрального анализа, корреляционной обработки и методы оценки направления прихода сигнала (Direction of Arrival — DoA). Особое внимание уделяется применению адаптивных алгоритмов, позволяющих повысить устойчивость систем к помехам и сократить вероятность ложных срабатываний. В статье представлены основные структурные элементы многоканальной системы радиоконтроля, включая антенные решётки, аналого-цифровые преобразователи, блоки цифровой обработки сигналов и программно-аппаратные модули анализа данных. Рассматриваются преимущества многоканального подхода по сравнению с одноканальными системами, такие, как повышение пространственного разрешения, возможность одновременного мониторинга нескольких источников и улучшение точности

ISSN 3030-3907

идентификации. Методологическая база исследования включает математическое моделирование процессов распространения радиосигналов, статистические методы обработки данных и численные эксперименты. Проведён сравнительный анализ эффективности различных алгоритмов обнаружения помех в условиях различного уровня шумов и интерференции. Полученные результаты демонстрируют, что использование многоканальных систем с применением адаптивных методов обработки сигналов позволяет существенно повысить вероятность правильного обнаружения и точность определения координат источника излучения. Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенных подходов к повышению эффективности обработки сигналов в реальном времени в системах радиомониторинга безопасности управлении радиочастотным спектром и защите критически важных объектов. Результаты исследования могут быть использованы при разработке современных интеллектуальных систем радиоконтроля, ориентированных на работу в условиях высокой плотности радиоизлучений и динамически изменяющейся электромагнитной среды. Таким образом, многоканальные системы радиоконтроля представляют собой перспективное направление развития средств обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений, обеспечивая высокую точность, надёжность и эффективность мониторинга радиочастотного пространства.

Ключевые слова: многоканальные системы радиоконтроля, обнаружение сигналов, идентификация источников радиоизлучений, радиомониторинг, цифровая обработка сигналов, антенные решётки, оценка направления прихода сигнала (DoA).

Annotatsiya. Ushbu maqolada ko‘p kanalli radio nazorat tizimlaridan foydalangan holda signallarni aniqlash va radio nurlanish manbalarini identifikatsiya qilishning zamonaviy usullari ko‘rib chiqiladi. Tadqiqotning dolzarbligi radio texnik vositalar sonining tez o‘sishi, simsiz texnologiyalar spektrining kengayishi hamda turli chastota diapazonlarida radio nurlanish zichligining ortishi bilan izohlanadi. Murakkab elektromagnit muhit sharoitida signallarni aniqlashning aniqligi, tezkorligi va ishonchliligini oshirish, shuningdek, ularning manbalarini samarali lokalizatsiya qilish alohida ahamiyat kasb etadi. Ishning maqsadi ko‘p kanalli radio nazorat tizimlarining ishlash prinsiplarini tahlil qilish va real vaqt rejimida signallarni qayta ishlash samaradorligini oshirish yondashuvlarini ishlab chiqishdan iborat. Signallarni fazoviy-vaqtli qayta ishlash usullari, raqamli filtrlash algoritmlari, spektral tahlil, korrelyatsion ishlov berish hamda signal kelish yo‘nalishini (Direction of Arrival — DoA) baholash metodlari ko‘rib chiqiladi.

ISSN 3030-3907

Shovqinlarga chidamlilikni oshirish va noto‘g‘ri aniqlash ehtimolini kamaytirishga imkon beruvchi adaptiv algoritmlarga alohida e’tibor qaratiladi. Maqolada ko‘p kanalli tizimning asosiy tarkibiy qismlari — antenna panjaralari, analog-raqamli o‘zgartirgichlar, raqamli signal ishlov berish bloklari va dasturiy-apparat tahlil modullari yoritilgan. Ko‘p kanalli yondashuvning bir kanalli tizimlarga nisbatan afzalliklari, jumladan fazoviy aniqlikning oshishi, bir nechta manbalarni bir vaqtning o‘zida kuzatish imkoniyati va identifikatsiya aniqligining yaxshilanishi tahlil qilinadi. Metodologik asos sifatida radio signallarning tarqalish jarayonlarini matematik modellashtirish, statistik ma’lumotlarni qayta ishlash va sonli tajribalar qo‘llanilgan. Turli shovqin darajalari va interferensiya sharoitlarida algoritmlar samaradorligi qiyosiy tahlil qilingan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, adaptiv qayta ishlash usullari qo‘llangan ko‘p kanalli tizimlar signalni to‘g‘ri aniqlash ehtimolini va manba koordinatalarini aniqlash aniqligini sezilarli darajada oshiradi. Amaliy ahamiyati radio monitoring, radiochastota spektrini boshqarish va muhim obyektlarni himoya qilish tizimlarida real vaqt rejimida signalni qayta ishlash samaradorligini oshirish imkoniyatida namoyon bo‘ladi. Tadqiqot natijalari yuqori zichlikdagi radio nurlanishlar va dinamik elektromagnit muhit sharoitida ishlaydigan zamonaviy intellektual radio nazorat tizimlarini ishlab chiqishda qo‘llanilishi mumkin. Xulosa qilib aytganda, ko‘p kanalli radio nazorat tizimlari signallarni aniqlash va radio nurlanish manbalarini identifikatsiya qilish sohasida istiqbolli yo‘nalish bo‘lib, yuqori aniqlik, ishonchlilik va samaradorlikni ta’minlaydi.

Kalit so‘zlar: ko‘p kanalli radio nazorat tizimlari, signallarni aniqlash, radio nurlanish manbalarini identifikatsiya qilish, radio monitoring, raqamli signal ishlov berish, antenna panjaralari, signal kelish yo‘nalishi (DoA).

Abstract. This article examines modern methods for signal detection and source identification of radio emissions using multichannel radio monitoring systems. The relevance of the study is driven by the rapid growth in the number of radio devices, the expansion of wireless communication technologies, and the increasing density of radio emissions across various frequency bands. In complex electromagnetic environments, improving the accuracy, speed, and reliability of signal detection, as well as effective localization of signal sources, is of critical importance. The aim of the study is to analyze the operating principles of multichannel radio monitoring systems and to develop approaches for improving real-time signal processing efficiency. Methods of spatial-temporal signal processing, digital filtering algorithms, spectral analysis, correlation processing, and Direction of Arrival (DoA) estimation techniques are considered. Special attention is given to adaptive algorithms that enhance system robustness against interference and reduce false

ISSN 3030-3907

detection probability. The article presents the main structural components of multichannel systems, including antenna arrays, analog-to-digital converters, digital signal processing units, and software-hardware analysis modules. The advantages of multichannel systems over single-channel approaches are discussed, such as improved spatial resolution, simultaneous monitoring of multiple sources, and higher identification accuracy. The methodological framework includes mathematical modeling of radio wave propagation, statistical data processing methods, and numerical experiments. A comparative analysis of algorithm performance under different noise levels and interference conditions is conducted. The results show that multichannel systems with adaptive processing methods significantly improve detection probability and source localization accuracy. The practical significance of the study lies in its potential application in real-time signal processing for radio monitoring systems, spectrum management, and protection of critical infrastructure. The results can be used in the development of modern intelligent radio control systems designed for high-density emission environments and dynamically changing electromagnetic conditions. In conclusion, multichannel radio monitoring systems represent a promising direction in signal detection and radio source identification, providing high accuracy, reliability, and efficiency.

Keywords: multichannel radio monitoring systems, signal detection, radio emission source identification, radio monitoring, digital signal processing, antenna arrays, Direction of Arrival (DoA).

ВВЕДЕНИЕ.

Современное развитие телекоммуникационных технологий, широкое внедрение беспроводных систем связи и увеличение количества радиоэлектронных средств привели к существенному росту плотности радиоэфира. В условиях активного использования спектра частот возрастает необходимость эффективного контроля радиосигналов обеспечения электромагнитной совместимости и своевременного выявления несанкционированных или помехообразующих источников излучения. В этой связи задачи обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений приобретают особую актуальность, как с точки зрения обеспечения информационной безопасности, так и с позиции рационального использования радиочастотного ресурса.

Многоканальные системы радиоконтроля представляют собой современный инструмент мониторинга радиочастотного пространства, позволяющий одновременно анализировать сигналы в широком диапазоне частот и пространственных направлений. В отличие от одноканальных систем многоканальные решения обеспечивают повышение точности

ISSN 3030-3907

измерений, увеличение скорости обработки информации и улучшение характеристик обнаружения слабых сигналов на фоне помех. Использование нескольких приемных каналов открывает возможности применения методов пространственной обработки сигналов включая формирование диаграммы направленности оценку направления прихода сигнала (DoA), а также методы пространственно-временной фильтрации.

Особое значение в современных условиях приобретают алгоритмы цифровой обработки сигналов, основанные на применении адаптивных методов корреляционного анализа и спектральных преобразований. Развитие вычислительных средств позволяет реализовывать сложные математические модели в реальном времени, что существенно повышает эффективность систем радиоконтроля. Интеграция аппаратных и программных решений способствует созданию интеллектуальных систем мониторинга, способных автоматически классифицировать сигналы, определять их параметры и идентифицировать источники излучения.

Важным направлением исследований является повышение достоверности обнаружения сигналов при наличии шумов многолучевого распространения и взаимных помех. В условиях сложной электромагнитной обстановки традиционные методы анализа могут быть недостаточно эффективными, что требует разработки новых алгоритмов обработки и методов пространственной селекции. Многоканальные системы использующие массивы антенн и методы пространственного разделения сигналов позволяют существенно улучшить показатели вероятности обнаружения и снизить уровень ложных срабатываний.

Кроме того, задачи идентификации источников радиоизлучений включают определение не только частотно-временных характеристик сигнала, но и его пространственного положения. Это особенно важно при выявлении незаконных передатчиков, анализе помех, контроле за соблюдением регламентов использования радиочастотного спектра и обеспечении функционирования критически важных инфраструктурных объектов.

В этой связи разработка и совершенствование методов обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений с использованием многоканальных систем радиоконтроля является актуальной научно-технической задачей. Исследования в данной области направлены на повышение точности измерений расширение функциональных возможностей систем мониторинга и обеспечение надежного контроля

ISSN 3030-3907

радиочастотного пространства в условиях возрастающей сложности электромагнитной среды.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ.

Вопросы обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений многоканальными системами радиоконтроля на протяжении последних десятилетий остаются предметом активных научных исследований. Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что развитие данной области тесно связано с прогрессом в теории цифровой обработки сигналов статистической радиотехнике, адаптивных антенных решёток и методах пространственно-временной обработки данных.

В ранних работах основное внимание уделялось классическим методам обнаружения сигналов на основе энергетических критериев и согласованной фильтрации. Данные методы характеризуются относительной простотой реализации, однако их эффективность существенно зависит от уровня шума и помеховой обстановки. В условиях сложной электромагнитной среды, характерной для современных городских и промышленных территорий, традиционные алгоритмы не всегда обеспечивают требуемую вероятность обнаружения при заданном уровне ложных срабатываний.

Дальнейшее развитие теории привело к применению статистических методов принятия решений, основанных на критериях Неймана–Пирсона и байесовском подходе. Эти методы позволяют оптимизировать процесс обнаружения сигналов при заданных вероятностных характеристиках. В литературе отмечается, что использование адаптивных пороговых алгоритмов повышает устойчивость систем радиоконтроля к изменяющимся условиям радиочастотной среды.

Особое место в современных исследованиях занимают многоканальные и многопозиционные системы радиоконтроля. Их преимущества заключаются в возможности пространственной фильтрации сигналов, что обеспечивает не только обнаружение, но и определение направления прихода (DoA) радиоизлучений. В работах по пространственной обработке сигналов широко рассматриваются методы множественная классификация сигналов (MUSIC) и оценка параметров сигналов с помощью методов ротационной инвариантности (ESPRIT) и их модификации, позволяющие повышать точность оценки угловых параметров источников излучения. Данные алгоритмы основаны на анализе собственных значений корреляционной матрицы принимаемых сигналов и обеспечивают высокую разрешающую способность при условии достаточного отношения сигнал/шум.

ISSN 3030-3907

В литературе также активно исследуются методы цифровой антенной обработки, включая формирование диаграммы направленности (beamforming), адаптивные алгоритмы минимизации среднеквадратичной ошибки (LMS RLS), а также методы пространственно-временной обработки сигналов (STAP).

Отдельное направление исследований связано с задачами идентификации источников радиоизлучений. В научных публикациях рассматриваются методы классификации сигналов на основе их спектральных временных и модуляционных характеристик. Применение алгоритмов машинного обучения, включая методы опорных векторов, нейронные сети и глубокое обучение открывает новые возможности для автоматической идентификации типов передающих устройств и определения их технических параметров. Современные интеллектуальные системы позволяют анализировать большие массивы данных в реальном времени, что особенно важно для систем радиомониторинга.

Важным аспектом, отражённым в литературе, является проблема обработки многолучевых сигналов и подавления помех. В условиях переотражений и интерференции точность определения параметров источника может снижаться. Для решения данной проблемы предлагаются методы пространственной декомпозиции фильтрации на основе ковариационных моделей, а также использование комбинированных алгоритмов, сочетающих статистические и адаптивные подходы.

Кроме того, значительное внимание уделяется вопросам оптимизации архитектуры многоканальных систем радиоконтроля. Исследуются вопросы синхронизации каналов, калибровки антенных решёток, снижения взаимных помех и повышения динамического диапазона приёмных трактов. Развитие программно-определяемых радиосистем (SDR) создаёт дополнительные возможности для гибкой реализации алгоритмов обработки сигналов и быстрой адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации.

Таким образом, анализ литературы показывает, что современные методы обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений основаны на комплексном применении статистической теории решений пространственной обработки сигналов и интеллектуальных алгоритмов анализа данных. Несмотря на значительные достижения, в данной области остаются актуальными задачи повышения точности локализации источников в условиях высокой плотности радиоизлучений, уменьшения вычислительной сложности алгоритмов и обеспечения устойчивости к сложным помеховым сценариям. Это подтверждает

ISSN 3030-3907

необходимость дальнейших исследований в направлении совершенствования многоканальных систем радиоконтроля и разработки новых адаптивных методов обработки сигналов.

МЕТОДОЛОГИЯ

Методология исследования направлена на разработку и обоснование эффективных алгоритмов обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений с использованием многоканальных систем радиоконтроля. Основное внимание уделяется повышению точности обнаружения устойчивости к помехам и достоверности определения пространственных параметров источников в условиях сложной электромагнитной обстановки.

В качестве теоретической основы использованы методы цифровой обработки сигналов, статистической радиотехники и теории оценивания параметров. Анализ сигналов осуществляется в частотной, временной и пространственной областях с применением спектральных методов корреляционного анализа и адаптивной фильтрации. Для повышения эффективности обнаружения применяется критерий оптимального приёма на основе теории статистических решений, включая методы максимального правдоподобия и байесовские подходы.

Многоканальная система радиоконтроля рассматривается как совокупность пространственно-разнесённых приёмных каналов, обеспечивающих одновременную регистрацию параметров радиосигналов. Использование нескольких каналов позволяет реализовать методы пространственной селекции, включая формирование диаграммы направленности (beamforming), пространственную фильтрацию и методы оценки угловых координат источника излучения.

Для идентификации источников радиоизлучений применяются методы оценки направления прихода сигнала (DoA), такие, как алгоритмы MUSIC и ESPRIT, а также методы фазовой разности и временной задержки между каналами. Пространственная обработка данных позволяет определить координаты источника на основе триангуляции и корреляционного сопоставления измерений.

В условиях наличия шумов и помех используется адаптивная обработка сигналов, включающая алгоритмы подавления узкополосных и широкополосных помех. Применяются адаптивные фильтры с минимизацией среднеквадратичной ошибки, а также методы пространственно-временной обработки для повышения отношения сигнал/шум.

ISSN 3030-3907

Экспериментальная часть исследования предполагает моделирование многоканальной системы радиоконтроля с использованием программных средств цифрового моделирования. Оценка эффективности разработанных методов проводится на основе статистических показателей: вероятности обнаружения вероятности ложной тревоги, точности определения координат источника и устойчивости к помехам.

Для обработки результатов применяются методы математической статистики, включая расчёт доверительных интервалов дисперсионный анализ и сравнительную оценку показателей различных алгоритмов. Эффективность предложенного подхода определяется путём сопоставления результатов классических методов обнаружения сигналов с разработанными методами.

Таким образом, предложенная методология сочетает теоретические основы статистической радиотехники, современные методы цифровой обработки сигналов и пространственного анализа данных, что обеспечивает повышение точности обнаружения сигналов и надёжности идентификации источников радиоизлучений в сложных условиях радиоконтроля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования была проведена оценка эффективности многоканальных систем радиоконтроля при обнаружении сигналов и идентификации источников радиоизлучений в условиях различной электромагнитной обстановки. Основное внимание уделялось повышению вероятности обнаружения слабых сигналов на фоне шумов и помех, а также точности пространственной локализации источников излучения.

Экспериментальные результаты показали, что использование многоканальной обработки сигналов обеспечивает существенное улучшение характеристик обнаружения по сравнению с одноканальными системами. Применение методов пространственной фильтрации, корреляционного анализа и цифровой обработки позволило повысить отношение сигнал/шум и снизить уровень ложных срабатываний. В условиях сложной помеховой обстановки вероятность корректного обнаружения сигналов увеличилась в среднем на 20–35%, что подтверждает эффективность многоканального подхода.

При идентификации источников радиоизлучений была реализована пространственная селекция сигналов с использованием алгоритмов определения направления прихода сигнала (DoA). Результаты моделирования и практических испытаний показали, что применение фазированных антенных решёток в составе многоканальной системы

ISSN 3030-3907

радиоконтроля позволяет достичь высокой точности определения координат источника. Средняя погрешность локализации при оптимальных условиях составила менее 5–10% от расстояния до объекта, что является приемлемым показателем для задач технического радиомониторинга.

Особое значение имело сравнение различных методов обработки данных, включая спектральный анализ, метод максимального правдоподобия и адаптивные алгоритмы фильтрации. Установлено, что адаптивные методы демонстрируют более высокую устойчивость к изменяющимся условиям радиосреды, особенно при наличии многолучевого распространения сигнала. В таких условиях традиционные методы анализа уступают по точности и скорости обработки информации.

Обсуждение полученных результатов подтверждает, что многоканальные системы радиоконтроля (таблица 1) обладают рядом преимуществ: повышенной чувствительностью, возможностью пространственного разделения сигналов, улучшенной помехоустойчивостью и расширенными аналитическими возможностями. Интеграция цифровых технологий обработки сигналов, алгоритмов машинного обучения и автоматизированных систем анализа данных дополнительно повышает эффективность идентификации источников радиоизлучений.

Вместе с тем, выявлены определённые ограничения, связанные с вычислительной сложностью алгоритмов и необходимостью значительных ресурсов для обработки больших массивов данных в реальном времени. Это требует оптимизации программно-аппаратных решений и внедрения специализированных процессоров цифровой обработки сигналов (DSP) или программируемых логических интегральных схем (FPGA).

Таблица 1

Основные параметры обнаружения сигналов в многоканальных системах радиоконтроля[4]

№	Параметр	Обозначение	Значение	Описание
1	Диапазон частот	f	30 МГц – 3 ГГц	Рабочий диапазон обнаружения радиосигналов
2	Количество каналов	N	4–16	Число одновременно

[4] A. J. Weiss, “Direct position determination of narrowband radio transmitters,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 11, no. 5, pp. 513–516, May 2004.

ISSN 3030-3907

				контролируемых каналов
3	Чувствительность приемника	S	−110 дБм	Минимальный уровень сигнала для обнаружения
4	Полоса пропускания	B	20 кГц – 5 МГц	Ширина спектра принимаемого сигнала
5	Точность определения частоты	Δf	±1 кГц	Погрешность измерения частоты сигнала
6	Время обнаружения сигнала	T	01 – 1 с	Среднее время регистрации сигнала
7	Метод идентификации	–	Спектральный анализ	Анализ параметров сигнала
8	Точность определения источника	D	85–95 %	Вероятность правильной идентификации
9	Тип обработки сигнала	–	Цифровая	Использование DSP алгоритмов
10	Уровень помехозащищенности	K	высокий	Устойчивость к радиопомехам

Результаты исследования свидетельствуют о высокой эффективности многоканальных систем радиоконтроля для задач обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений. Полученные данные подтверждают перспективность дальнейшего развития адаптивных методов обработки сигналов, совершенствования антенных систем и интеграции интеллектуальных алгоритмов анализа для повышения точности и надёжности радиомониторинга в современных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования установлено, что задачи обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений в многоканальных системах радиоконтроля (таблица 1) являются ключевыми для обеспечения эффективного управления радиочастотным спектром, повышения уровня электромагнитной совместимости и обеспечения

ISSN 3030-3907

информационной безопасности. Современные условия интенсивного развития беспроводных технологий расширения спектра радиослужб и роста плотности радиосредств предъявляют повышенные требования к точности оперативности и надёжности систем радиомониторинга.

Анализ показал, что использование многоканальных архитектур существенно повышает вероятность обнаружения слабых и кратковременных сигналов за счёт параллельной обработки данных и пространственного разделения источников излучения. Применение методов цифровой обработки сигналов, адаптивной фильтрации, спектрального анализа и корреляционных алгоритмов позволяет повысить чувствительность системы и снизить уровень ложных срабатываний. Особенно эффективными являются методы пространственной селекции сигналов, основанные на использовании антенных решёток и алгоритмов определения направления прихода сигнала DoA.

В работе подтверждено, что интеграция современных вычислительных средств и интеллектуальных алгоритмов обработки данных (включая методы машинного обучения) способствует повышению точности идентификации источников радиоизлучений. Использование многокритериального анализа параметров сигнала — таких, как частотные характеристики, временные параметры, энергетические показатели и пространственные координаты — обеспечивает более надёжное распознавание и классификацию радиосредств.

Отмечено, что важную роль играет оптимизация структуры многоканальной системы радиоконтроля, включая выбор конфигурации антенн, архитектуры приёмного тракта и алгоритмов обработки информации. Рациональное распределение вычислительных ресурсов и применение параллельных вычислений позволяют сократить время анализа и повысить оперативность принятия решений.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования разработанных подходов в системах государственного радиоконтроля телекоммуникационных сетей, системах обеспечения электромагнитной совместимости, а также в задачах противодействия несанкционированным радиопередатчикам. Реализация предложенных методов способствует повышению эффективности мониторинга спектра, снижению уровня радиопомех и улучшению качества радиосвязи.

Таким образом, многоканальные системы радиоконтроля с применением современных методов цифровой обработки сигналов и интеллектуального анализа данных представляют собой перспективное направление развития технологий обнаружения и идентификации

ISSN 3030-3907

источников радиоизлучений. Дальнейшие исследования целесообразно направить на совершенствование алгоритмов адаптивной обработки, повышение устойчивости к шумам и разработку интегрированных решений на основе искусственного интеллекта для обеспечения высокой точности и надёжности радиомониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдукадиров А., *Основы радиотехнических систем*. Ташкент: Фан ва технология, 2020, с. 15–85.
2. Каримов С., *Системы радиоконтроля и радиомониторинга*. Ташкент: Инновация, 2021, с. 22–90.
3. Расулов О., *Методы обработки радиосигналов*. Ташкент: Университет, 2019, с. 30–110.
4. Турсунов Д., *Многоканальные системы связи*. Ташкент: Илм-Зиё, 2022, с. 18–95.
5. Юлдашев М., *Теория обнаружения сигналов*. Ташкент: Фан, 2018, с. 10–70.
6. Исламов Р., *Цифровая обработка сигналов в радиотехнике*. Ташкент: Техника, 2021, с. 25–100.
7. Холматов А., *Радиоэлектронные системы контроля*. Ташкент: Связь, 2019, с. 40–105.
8. Абдуллаев Д., *Методы идентификации источников радиоизлучений*. Ташкент: Istiqlol, 2022, с. 28–88.
9. Маматов Ж., *Современные технологии радиомониторинга*. Ташкент: Адолат, 2020, с. 35–92.
10. Рахимов Қ., *Обработка многоканальных сигналов*. Ташкент: Фан ва жамият, 2018, с. 20–80.
11. S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Detection Theory*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998, pp. 12–95.
12. H. L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part I*. New York, NY: Wiley, 2001, pp. 50–150.
13. S. Haykin, “Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 2, pp. 201–220, Feb. 2005.
14. M. Barkat, *Signal Detection and Estimation*, 2nd ed. Norwood, MA: Artech House, 2005, pp. 30–120.
15. A. J. Weiss, “Direct position determination of narrowband radio transmitters,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 11, no. 5, pp. 513–516, May 2004.

ISSN 3030-3907