

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ и ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика

С.П. Королева»

(Самарский университет)

Институт информатики и кибернетики

Кафедра радиоэлектронных систем

ОТЧЕТ ПО ПРАКТИКЕ

Вид практики: Производственная практика

Тип практики: Технологическая практика

Сроки прохождения практики: с 01.07.2024 г по 19.07.2024 г.

по направлению подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Студент группы 6211-110501D \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Красов С.М.

Руководитель практики от университета к.т.н. доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Данилин С.А.

Руководитель практики от организации­­­­­­­­­­­ к.т.н., в.н.с.

Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Маслов Е.Н.

Дата сдачи 19.07.2024 г.

Дата защиты 19.07.2024 г.

Оценка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Самара 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет

имени академика С.П. Королева»

(Самарский университет)

Институт информатики и кибернетики

Кафедра радиоэлектронных систем

**Индивидуальное задание на практику**

Студенту *Красову Семёну Михайловичу* группы *6211-110501D*

Направление на практику оформлено приказом по университету от 28.06.2024 г. №344-ПР

в Самарский филиал ФГБУ НИИР – «СОНИИР», г. Самара

в соответствии с договором о направлении на практику от 13.02.2024 г. № 118.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Планируемые результаты освоения образовательной программы (компетенции) | Планируемые результаты практики | Содержание задания |
| ПК-1 Способен осуществлять анализ состояния научно-технической проблемы, определять цели и выполнять постановку задач проектирования  ПК-1.1. Проводит анализ состояния научно-технической проблемы;  ПК-1.2. Определяет цели, ставит задачи проектирования; | Знать методы оценки состояния научно-технической проблемы;  уметь оценивать состояние научно-технической проблемы;  владеть практикой анализа состояния научно-технических проблем;  знать методологию целеполагания проектирования;  уметь определять цели, ставить задачи проектирования;  владеть практикой определения целей, постановки задач проектирования. | Изучение методологии разработки «СОНИИР» радиотехнической продукции. Анализ особенностей рабочего диапазона частот сети 6G*.* Постановка задачи организации сканирования случайного радиоканала. |
| ПК-10 Способен оценивать основные показатели качества систем передачи информации с учетом характеристик каналов связи  ПК-10.1 Оценивает основные показатели качества систем передачи информации  ПК-10.2 Определяет характеристики каналов связи систем передачи информации | Знать основные характеристики и показатели качества систем передачи информации; уметь оценивать основные показатели качества систем передачи информации; владеть методами оценки систем передачи информации. знать основные характеристики каналов связи; уметь определять характеристики каналов связи; владеть методами определения характеристик каналов связи. | Описание основных задач систем связи 6G (обеспечение eMBB, URLLC, mMTC, ISAC/DFRC) и требуемых показателей качества (OOBE, PAPR, совместимости с MIMO) их работы. |
| ПК-11 Способен проводить оптимизацию радиосистем передачи информации и отдельных ее подсистем  ПК-11.1 Определяет основные параметры для оптимизации радиосистем передачи информации и отдельных ее подсистем  ПК-11.2 Осуществляет оптимизацию радиосистем передачи информации и отдельных ее подсистем | Знать основные параметры оптимизации радиосистем передачи информации; уметь определять параметры оптимизации; владеть методами определения параметров оптимизации радиосистем передачи информации. знать основные подходы к оптимизации радиосистем передачи информации; уметь самостоятельно проводить оптимизацию радиосистем передачи информации; владеть практическими навыками оптимизации радиосистем передачи информации. | Описание использования данных ISAC/DFRC для выбора рабочих частот и формирования пространственных лучей (beamforming) mMIMO (massive MIMO) базовых станций 6G. |
| ПК-8 Способен изучать и использовать специальную литературу и другую научно-техническую информацию, отражающую достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области радиотехники  ПК-8.1. Ориентируется в источниках информации, находит и выбирает специальную литературу, подходящую к решению профессиональных задач;  ПК-8.2. Применяет специальную литературу и другую научно- техническую информацию в профессиональной деятельности; | Знать источники информации;  уметь ориентироваться в источниках информации, находить и выбирать специальную литературу, подходящую к решению профессиональных задач;  владеть сведениями из специальной литературы, подходящей к решению профессиональных задач.;  знать специальную литературу;  уметь применять специальную литературу и другую научно- техническую информацию в профессиональной деятельности;  владеть навыками применения специальной литературы и другой научно- технической информации в профессиональной деятельности. | Изучение специальной литературы:  1. Тонг В., Чжу П. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков. От подключенных людей и вещей к подключенному интеллекту; под ред. В. Тонг, П. Чжу / Вэнь Тонг, Пейин Чжу; пер. с англ. В.С. Яценкова. – М. : ДМК Пресс, 2022. – 624 c.  2. Tripathi S., Sabu N. V., Gupta A. K., Dhillon H. S. Millimeter-wave and Terahertz Spectrum for 6G Wireless // Computer Communications and Networks. – 20 Feb. 2021.  3. Mucchi L., Shahabuddin S., Albreem M.A.M., Abdallah S., Caputo S., Panayirci E., Juntti M. Signal Processing Techniques for 6G // Journal of Signal Processing Systems. – 2 February 2023. – 95:435–457. |

Дата выдачи задания 01.07.2024 г

Срок представления на кафедру отчета о практике 19.07.2024 г.

Руководитель практики от университета к.т.н. доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Данилин С.А.

Руководитель практики от организации­­­­­­­­­­ к.т.н., ­в.н.с.

Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Маслов Е.Н.

Задание принял к исполнению студент группы *№ 6211-110501 D\_\_\_\_\_\_\_\_\_* Красов С.М.

**Рабочий график проведения практики**

|  |  |
| --- | --- |
| Дата | Наименование мероприятия |
| 01.07.24-04.07.24 | Ознакомление с заданием на практику. Изучение особенностей рабочего диапазона частот сети 6G и организации способов его сканирования |
| 05.07.24-07.07.24 | Изучение методологии разработки «СОНИИР» радиотехнической продукции. Анализ особенностей рабочего диапазона частот сети 6G*.* |
| 08.07.24-11.07.24 | Постановка задачи организации сканирования случайного радиоканала. |
| 12.07.24-14.07.24 | Описание основных задач систем связи 6G (обеспечение eMBB, URLLC, mMTC, ISAC/DFRC) и требуемых показателей качества (OOBE, PAPR, совместимости с MIMO) их работы. |
| 15.07.24 | Описание использования данных ISAC/DFRC для выбора рабочих частот и формирования пространственных лучей (beamforming) mMIMO (massive MIMO) базовых станций 6G. |
| 16.07.24-19.07.24 | Составление отчёта по проделанной работе. Выводы.  Оформление списка использованной литературы |

Руководитель практики от организации­­­­­­­­­­ к.т.н., ­в.н.с.

Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Маслов Е.Н.

**Описательная часть**

**1. Описание структуры и методологии деятельности Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» по разработке радиотехнической продукции**

Самарский филиал ФГБУ «Ордена Трудового Красного Знамени Научно-Исследовательский Институт Радио имени М.И. Кривошеева» (Самарский филиал ФГБУ НИИР – «СОНИИР») является профильным предприятием Минцифры в области разработки, внедрения, обеспечения эксплуатации различных систем радиосвязи и соответствующего оборудования.

Основными направлениями деятельности Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» являются работы по созданию и обеспечению магистральных, радиорелейных, зоновых, транкинговых, сотовых систем радиосвязи, работающих как независимо, так и во взаимодействии с системами спутниковой, волоконно-оптической, проводной связи.

В организации процесса разработки радиотехнической продукции Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» участвуют:

- Аппарат управления (АУП), в составе директора, его заместителей, секретариата, бухгалтерии, отдела планирования, отдела кадров, - осуществляющий основные функции управления предприятием;

- Научно-технические центры (НТЦ), в составе директоров, начальников отделов, начальников лабораторий, начальников секторов, научных и инженерно-технических сотрудников, - осуществляющие основную производственную деятельность предприятия по разработке радиотехнической продукции;

- Научно-производственный центр (НПЦ), в составе директора, начальника отдела подготовки производства (конструирования), главного инженера, технологов и сотрудников слесарного, токарно-фрезерного, гальванического, монтажного участков, - обеспечивающих оперативное, мелкосерийное производство оборудования, разрабатываемого в НТЦ;

- Отдел метрологического обеспечения (ОМО), в составе главного метролога и сотрудников метрологической службы, выполняющий работы по метрологическому обеспечению производственной деятельности НТЦ;

- Группа стандартизации, качества и технического контроля (ГСК и ТК), в составе руководителя группы и сотрудников патентной службы, службы стандартизации и нормо-контроля, библиотеки.

Структура Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» соответствует методологии разработки радиотехнической продукции, регламентированной государственными стандартами системы разработки и постановки продукции на производство: ГОСТ 15.101-98 «Порядок выполнения научно–исследовательских работ» (НИР) и ГОСТ Р 15.201-2001 «Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство» - в части опытно-конструкторских работ (ОКР).

**2. Роль и место Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» в разработке критических технологий создания оборудования для сетей связи 5G Advanced/6G» высокотехнологичного направления «Современные и перспективные сети мобильной связи»**

Самарский филиал ФГБУ НИИР – «СОНИИР» занимается исследованием и разработкой современных и перспективных сетей радиосвязи. В 2023-2024 годах проводились исследования, целью которых являлся анализ рабочего диапазона частот сети 6G, в рамках формирования научного задела для разработки практических рекомендаций для создания перспективной отечественной системы связи 5GA(Advanced)/6G.

В соответствии с мероприятием ‒ «Предложения по управлению использованием радиочастотного спектра на территории Российской Федерации с учетом внедрения сетей связи 6G» реализации дорожной карты поднаправления «Исследование специфики сверхширокополосной передачи информации в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах» научной темы «Разработка критических технологий создания оборудования для сетей связи 5GA/6G» высокотехнологичного направления «Современные и перспективные сети мобильной связи» тематики научных исследований, включаемых в планы научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования, осуществляющих научные исследования за счет средств федерального бюджета, согласно форме №22 Минобрнауки России, по указанному направлению Самарским филиалом ФГБУ НИИР – «СОНИИР» в 2025 году планируется выполнение научно-исследовательской работы (НИР). Основной областью применения полученных в ходе выполнения данной НИР результатов является их использование при разработке рекомендаций для создания перспективной отечественной системы связи 5GA/6G.

**3. Описание выполненных работ на предприятии**

**3.1. Анализ особенностей рабочего диапазона частот сети 6G. Постановка задачи организации сканирования случайного радиоканала**

После изучения деятельности Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» по разработке мобильной связи 5G и 6G и изучения требований назначения указанных технологий, в соответствии с индивидуальным заданием на практику и рабочим графиком ее проведения, в части анализа особенностей рабочего диапазона частот сети 6G изучались материалы заданной специальной литературы [1, 2, 3].

Согласно данным [1], распределение спектра рабочих частот тесно связано со сценариями использования и ключевыми показателями эффективности сети 6G. Отмечается, что многие аспекты использования спектра 5G в приложениях: расширенной мобильной широкополосной связи (еMBB), массовой связи межмашинного типа (mMTC) и сверхнадежной связи с низкой задержкой (URLLC), - получат продолжение и в 6G. Таким образом, принцип использования многоуровневой структуры частотных диапазонов в 5G будет применяться и для 6G. Однако ожидается, что 6G будет использовать гораздо более широкую полосу пропускания – шире, чем даже полоса миллиметрового диапазона, и соответственно более высокую рабочую частоту – вплоть до ТГц-диапазона или даже из спектра видимого света.

Использование полос рабочих частот дополнительных диапазонов необходимо для обеспечения непрерывного и рентабельного улучшения пропускной способности каналов и покрытия зон обслуживания при развертывании 6G. Инновационное использование при развертывании макросот диапазона миллиметровых волн является ключевым моментом к предоставлению новых услуг и приложений 6G требующих более высоких показателей пропускной способности каналов. При этом, согласно специфическим особенностям распространения, важнейшим условием обеспечения успешного освоения указанных частотных диапазонов является использование при организации связи 6G систем сканирования с высоким разрешением для определения местоположений действующих абонентов и локализации препятствий, мешающих связи с ними.

Средние диапазоны частот от 3 до 5 ГГц играющие решающую роль в 5G и также будут иметь жизненно важное значение для 6G, так как они являются наиболее экономичным способом обеспечения широкого покрытия. В системе 5G осознается важность средних диапазонов и предлагается множество возможных частотных диапазон, но глобально могут быть выделены полосы менее 500 МГц, что в дальнейшем может создать проблему, поскольку ожидается, что трафик 6G вырастет в десятки или даже сотни раз. Следовательно, для поддержки устойчивого роста трафика, потребуется дополнительный средний диапазон частот.

Полосы 6 ГГц (5925–7125 МГц) и 10 ГГц (10–13,25 ГГц) являются убедительными кандидатами на дополнение среднего диапазона. С точки зрения характеристик спектра, эти полосы частот могут поддерживать большие непрерывные блоки данных (теоретически доступная полоса пропускания составляет не менее 1 ГГц). Хотя затухание при распространении сигналов с переходом в диапазон более высоких частот, будет увеличиваться, такое увеличение является приемлемым, особенно когда речь идет о применении передовых технологий использования крупномасштабных пространственно-частотных массивов сигналов (например, ультрамассивных MIMO), реализация которых обеспечивается использованием не только радиочастотных компонентов, но и технологичных компонентов промежуточной частоты (IF/RF).

Диапазон миллиметровых волн хорошо подходит для обеспечения требуемого информационного объема системы связи 6G в сценариях ограниченных приложений, таких как городские точки доступа с экстремальной плотностью трафика и сверхвысокими скоростями передачи данных.

Однако полосы миллиметрового диапазона в 6G имеют жесткие характеристики распространения радиоволн. Им присуще:

- более сильные потери в тракте распространения (уменьшение дальности передачи)

- более сильные потери при проникновении (уменьшение мощности сигнала в помещениях)

- разреженные из-за большого числа множественных препятствий, соизмеримых с длиной рабочей радиоволны, кластеры (уменьшение ранга канала и, как следствие, снижение эффективности мультиплексирования многопользовательского MIMO).

Таким образом, практическая реализация связи в миллиметровом диапазоне сталкивается с существенными проблемами в задачах покрытия большой площади из-за ограничений, вызванных эффектом блокирования распространения миллиметровых волн препятствиями, соизмеримыми с длиной рабочей волны и высокой мобильностью абонентов.

Соответственно, новой технологией 6G, призванной обеспечить её работоспособность в указанных непростых условиях, является сканирование окружающей среды, обеспечивающее точное позиционирование абонентов, визуализацию препятствий и получение данных о реальном прохождении частот, т.е. предоставляющая в масштабе реального времени передатчику сведения о необходимых направлениях излучения сигналов и пригодных к использованию частотах.

Диапазон миллиметровых волн обеспечивает достаточный спектр для достижения сантиметрового разрешения сканирования. Согласно теории формирования электромагнитного изображения, при сканировании используются три аспекта разрешения:

- разрешение по дальности:

,



- угловое разрешение:

,



-разрешение смещения:

,



где *d* – расстояние сканирования.

Терагерцовый участок спектра также имеет большой потенциал использования для широкого перечня приложений связи и сканирования. ТГц-диапазон – это следующая возможность использования спектра для беспроводной связи 6G. По сравнению с более низкочастотными диапазонами, ТГц-диапазон имеет очевидные преимущества для связи с очень высокой скоростью передачи данных и сканирования со сверхвысоким разрешением. Одной из наиболее примечательных особенностей ТГц-диапазона является его способность обеспечивать сверхширокую полосу пропускания, т.е. достаточный ресурс спектра, необходимый для реализации предстоящего 6G. Обеспечивая полосу пропускания, превышающую десятки или даже сотни ГГц, можно будет достичь широкого диапазона возможностей, достаточных для обеспечения пиковых скоростей передачи данных и работоспособности приложений, чувствительных к задержкам.

Сканирование в ТГц-диапазоне может обеспечить гораздо более высокую точность и разрешение благодаря сверхширокой полосе пропускания. Кроме того, изображение, полученное в ТГц-диапазоне, демонстрирует улучшенное пространственное разрешение по сравнению с более низкочастотными полосами благодаря более коротким длинам волн и соответственно меньшим размерам используемого оборудования. Дополнительно, в отличие, например от рентгеновского диапазона электромагнитного излучения, ТГц-диапазон обладает уникальными возможностями менее опасного сканирования, поскольку это неионизирующее излучение с малой глубиной проникновения. Следует отметить, что ТГц-спектрометрия дает результаты, сопоставимые с профессиональными аппаратами КТ или МРТ, но она намного безопаснее и портативнее.

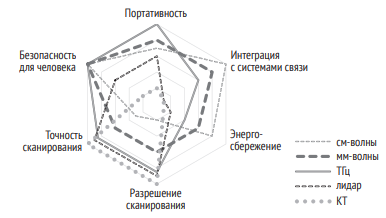


Рисунок 1 - Сравнение возможностей сканирования радиоканалов

в различных диапазонах

Из полученных результатов можно сделать вывод, что хотя ТГц-диапазон обеспечивает более широкую полосу пропускания и лучшие условия для синтеза ультрамассивных апертур антенн, обеспечивающих более высокую точность сканирования и пространственного мультиплексирования пользователей, более оптимальным вариантом применения в 6G являются мм-волны, так как большинство показателей эффективности этих волн находятся на среднем уровне, а некоторые и выше, что говорит о сбалансированности их характеристик. Также, работающие диапазоны миллиметровых волн более приспособлены к несовершенным условиям окружающей среды, таким как пыль, туман и т. д., что делает их подходящим вариантом для приложений сканирования окружающей среды вне помещений, таких как картографирование и электромагнитная реконструкция изображений рельефа и препятствий.

Таким образом, постановка задачи организации сканирования случайного радиоканала связи системы 6G заключается в поиске варианта её рабочего сигнала, способного не только обеспечить сверхвысокую скорость передачи данных с ультрамалыми задержками, но и выполнить в реальном времени функцию сканирования радиоканала, т.е. обеспечить передатчик актуальными и точными сведениями о необходимых направлениях излучения сигналов и о пригодных к использованию частотах.

**3.2. Описание основных задач систем связи 6G и требуемых показателей качества их работы**

Согласно данным предыдущего раздела система связи 6G будет использовать милиметровый (мм), терагерцовый (ТГц) диапазоны радиоволн или впервые даже видимый свет [2], обеспечивающие сверхширокую полосу пропускания сигналов, превышающую десятки ГГц. Благодаря этому сеть связи 6G будет обладать почти бесконечной пропускной способностью с беспрецедентной скоростью беспроводного соединения, обеспечивая тем самым сверхвысокие скорости передачи данных (до десятков Тбит/с) с ультрамалыми задержками. Терагерцовый участок спектра также должен быть включен в сферу влияния 6G, поскольку он имеет большой потенциал его использования для широкого перечня приложений организации указанных систем связи.

Также было установлено [1], что новый радиоинтерфейс 6G может объединить упомянутые выше технологии физического уровня:

-улучшенный мобильный широкополосный доступ (eMBB);

-сверхнадежная система связи с малой задержкой (URLLC);

-потоковая связь межмашинного типа (mMTC).

По данным [3], форма и схема модуляции сигнала указанных приложений должна обеспечивать надежную работу системы в условиях канала с частотно-временным рассеянием (многолучевость, эффект Допплера).

Для обеспечения требуемой скорости передачи данных, должны быть обеспечены высокие показатели спектральной эффективности и скорости обработки сигнала (низкой вычислительной сложности).

Для обеспечения высокой энергоэффективности, структура сигнальной конструкции должна обеспечивать низкое значение пик-фактора (PAPR) канального сигнала, обеспечивающего работу недорогих устройств с простыми усилителями мощности, обладающими достаточно высокой нелинейностью и ограниченным энергоресурсом.

Для обеспечения высокой плотности каналов большого числа разнообразных потребителей, сигнальная конструкция должна обеспечивать низкий уровень побочных и внеполосных излучений (OOBE).

Желательно чтобы сигнальная конструкция имела унифицированную структуру для нисходящего, восходящего и прямого каналов.

Оценивая технологические возможности перспективных типов радиосигналов, в первую очередь необходимо отметить их способность не только противостоять деструктивному воздействию мультипликативных искажений, аддитивных шумов и помех, но и также гибко адаптироваться к изменениям стохастического (случайного) радиоканала.

Отметим, что поскольку пропускная способность и задержка больше не будут узкими местами, препятствующими разработке подлинно настраиваемого беспроводного соединения для каждого пользователя, службы или приложения (при любом сценарии использования связи), то важнейшими технологиями обеспечения их работоспособности в условиях случайного канала становятся средства его сканирования (желательно одновременно с передачей информационных данных по типу ISAC/DFRC) и средства управления частотным и пространственным доступом абонентов, реализованные на основе множественной системы много входов - много выходов (MIMO).

Далее представлены результаты изучения применения технологий ISAC/DFRC и MIMO при организации систем связи 6G.

**3.3. Описание использования данных ISAC/DFRC для выбора рабочих частот и формирования пространственных лучей mMIMO базовых станций 6G**

Сканирование, или процесс получения информации об окружающей среде канала распространения радиосигнала является новой функцией 6G, регламентированной, в том числе интегрированной системой сканирования и связи (ISAC), называемой также двухфункциональной системой сканирования и связи (DFRC) [1]. Предпосылкой для унификации сигналов обоих функций является то, что характеристические особенности сигнала, используемые для оценки канала, синхронизации и фазирования системы передачи данных потенциально могут быть использованы и для решения задач сканирования. При этом отмечается, что сканирующий окружающую среду передатчик либо должен быть оснащен приемником отраженного испытательного сигнала, либо должен иметь канал обратной связи, по которому к нему возвращаются данные результатов приема его испытательного сигнала приемниками взаимодействующих абонентов.

Согласно технологии формирования сигнала одной широкополосной несущей UW-DFT-s-OFDM [1], в состав сигнала передачи данных периодически включается специальный ЛЧМ испытательный сигнал (UW), представляющий собой сигнал с известной амплитудой и фазой, частота которого меняется во всем диапазоне рабочих частот по линейному закону. Оценка изменений амплитуд и фаз испытательного ЛЧМ сигнала принятого корреляционным приемником от известных значений переданного сигнала, позволяет системе сканирования точно определить амплитудные и фазовые искажения сигнала каналом на каждой из частот рабочего диапазона. При этом, по данным обработки значений принятых сигналов отдельных частот (пилот-сигналов) из состава UW, кроме определения условий распространения сигналов (наличия препятствий и затухания), можно также решать задачи оценки дальности расположения абонента и скорости его движения (согласно формулам предыдущего раздела).

В направлении дальнейшей унификации применения в системах ISAC/DFRC сигналов с одной широкополосной несущей, в [1] рассмотрены варианты применения для организации сканирования метода расширения спектра информационного сигнала посредством формирования сверхширокополосной несущей при помощи прямых автокорреляционных последовательностей (DS-UWB), образованных набором сверхкоротких импульсных сигналов с позиционно-импульсной модуляцией (PPM). При этом, каждая используемая для передачи данных последовательность DS-UWB, обладает корреляционной функцией с формой стремящейся к дельта-функции. В изучаемой литературе показано, что поскольку построенная коррелятором приемника системы ISAC/DFRC такого типа, корреляционная функция принятого сигнала имеет форму дельта-функции только в случае прохождения сигналом канала без препятствий и искажений, приемник сканирующей системы может определить все необходимые данные результатов сканирования канала по степени отличия формы корреляционной функции принятого сигнала от идеальной.

В направлении унификации для системы ISAC/DFRC сигнала со множественной широкополосной несущей рассматривался вариант использования для сканирования сигнала ортогонального мультиплексирования с частотным разделением и циклическим префиксом (CP-OFDM). Поскольку форма спектра излучаемого ортогонального мультиплексирования с частотным разделением (OFDM-сигнала) близка к прямоугольной (т.е. проверяется вся полоса рабочих частот), а соотношения циклического префикса обеспечивают его хорошие корреляционные свойства, сигнал такого типа также отвечает рассмотренным выше требованиям применения в сканирующем приемопередатчике шумоподобного сигнала с корреляционной функцией стремящейся к дельта-форме, т.е. способен обеспечить необходимые оценки параметров затухания сигнала и требуемое качество (разрешение) определения форм препятствий. После синхронизации переданного и принятого сигналов, по относительной задержке пиков их автокорреляционных функций определяется относительная дальность до отражающего объекта, а по определенному в момент синхронизации (при максимуме корреляции) значению допплеровского смещения частот сигналов поднесущих, определяется относительная радиальная скорость движения объектов (препятствий или абонентов).

Отметим, что во всех случаях, поскольку для организации сканирования, так или иначе, либо часть информационного сигнала замещается специализированным испытательным сигналом, либо каждый его символ замещается целой последовательностью испытательных импульсов, повышение качества сканирования канала происходит за счет снижения эффективности передачи данных.

ІЅАС/DFRC данные для выбора частот:

-Интеграция сенсоров и связи: ISAC технологии позволяют использовать одни и те же ресурсы для одновременно выполнения задач связи и радиолокационного мониторинга. Эти системы могут собирать данные о частотной загруженности, интерференции и окружающей среде в реальном времени;

-Анализ спектра: Системы ISAC и DFRC могут анализировать спектральные данные, чтобы определить наименее загруженные и наиболее подходящие частотные диапазоны для связи. Это позволяет минимизировать интерференцию и улучшить качество связи;

-Адаптивное распределение частот: На основе полученных данных системы могут динамически выбирать и переключаться между частотами для обеспечения оптимальной работы сети.

Для обеспечения работы системы пространственного сканирования используются возможности технологии MIMO.

Согласно [1] технология системы много входов - много выходов (MIMO), является эффективным средством пространственной обработки, обеспечивающим повышение скорости передачи данных в ограниченной полосе, т.е. создающим возможность использования запаса пропускной способности, как для повышения помехоустойчивости связи в условиях стохастического радиоканала со множеством препятствий и помех, так и для организации множественного доступа абонентов посредством пространственного мультиплексирования их сигналов путем формирования лучей (beamforming) диаграммы направленности антенной системы, направленных соответственно местоположениям абонентов.

Таким образом, в классических системах MIMO повышение помехоустойчивости обеспечивается адаптивными методами организации разнесенного приема и передачи сигналов с использованием кодирования в совокупности с применением схем пространственного диаграммообразования.

В перспективных системах 6G планируется к применению технология, получившая название m-MIMO (massive MIMO), относящаяся к сценарию связи, когда число *N* антенн базовой станциинамного больше, чем количество *M* антенн пользовательских терминалов. По сведениям [3] большая разница между числом антенн базовой станции и пользовательскими устройствами может дать огромный выигрыш в спектральной эффективности, позволяя системе связи одновременно обслуживать в той же полосе частот гораздо больше устройств, чем в современных системах. Соответственно определим, что перспективные системы m-MIMO в первую очередь предназначаются для обеспечения одновременной работы в заданной полосе большого числа пользователей, характеризующихся некоррелированными в пространстве направлениями излучений.

ІЅАС/DFRC данные для beamforming:

Радиолокационное зондирование: используя функции радара, системы ІЅАС могут определять точное расположение пользователей и препятствий в окружающей среде. Это позволяет более точно нацеливать лучи mMIMO, улучшая покрытие и уменьшение интерференции;

Адаптивное beamforming: на основе радиолокационных данных системы могут динамически корректировать направление и форму лучей в реальном времени. Это помогает оптимизировать направление сигналов для каждого пользователя, обеспечивая высокое качество связи и минимизацию потерь;

Многопользовательское MIMO: с помощью данных DFRC, системы могут одновременно обслуживать множество пользователей, оптимизируя распределение лучей и минимизируя взаимные помехи.

Системы 6G m-MIMO будут используются в диапазонах миллиметровых и ТГц волн, что предполагает использование в их антенных системах огромного числа микро-габаритных антенных элементов. Следовательно, с переходом в более высокочастотный диапазон и увеличением количества элементов антенной решетки появляется возможность формирования ею чрезвычайно узких сигнальных лучей и оперативного управления их направленностью.

Очевидно, что кроме обеспечения пространственного множественного доступа абонентов в процессе связи, система 6G m-MIMO должна использоваться и на стадии сканирования канала, как для выявления направлений связи востребованных абонентами, так и для оперативного электромагнитного картографирования местности и формирования рельефов организуемых трасс связи и выявления имеющихся на их протяжении препятствий и помех. В процессе пространственного сканирования, система диаграммообразования m-MIMO, согласно описанным выше алгоритмам ISAC/DFRC формирует оценки качества канала связи по каждому сформированному направлению. Таким образом, пространственное сканирование выявляет востребованные абонентами направления связи и позволяет накапливать информация о качестве каналов данных направлений.

В результате накопления системой сканирования ISAC/DFRC указанной информации базовой станцией 6G формируются данные для выбора рабочих частот и для формирования mMIMO рабочих направлений пространственных лучей. При этом, эффективность работы системы диаграммообразования m-MIMO в процессе пространственного сканирования или формирования лучей диаграммы направленности излучений для связи с абонентами, полностью определяется точностью информации о канале каждого формируемого направления, подготовленной системой ISAC/DFRC.

Согласно [3], во многих сценариях 6G системе сканирования ISAC/DFRC трудно получить точную информацию о состояниях множества парциальных пространственных каналов, поскольку имеются значительные трудности обеспечения одновременности формирования системой m-MIMO многих очень узких лучей, точно направленных на многих пользователей.

В таких случаях для надежного формирования луча могут быть разработаны улучшенные схемы неортогонального множественного доступа (NOMA) обеспеченные многопользовательским кодированием предварительного формирования [3]. Располагая возможностями NOMA, m-MIMO может использовать модифицированную схему предварительного формирования лучей. Вместо формирования очень узких и точных лучей, нацеленных на каждого пользователя отдельно, упрощенный прекодер формирователя m-MIMO может генерировать более широкие лучи, нацеливаемые на группы пользователей, которые дополнительно мультиплексируются с помощью схем NOMA. Увеличение ширины луча делает формируемый им сигнал более устойчивым к изменениям параметров канала, например вызванных мобильностью пользователя или задержкой измерения в канале обратной связи приемника с передатчиком. Межпользовательские помехи отдельных сигналов внутри группы будут дополнительно подавляться приемником NOMA с помощью специальных сигнатур.

Преимущества интеграции ISAC/DFRC в 6G сети:

-Улучшенное покрытие и качество связи: Точные данные о положении пользователей и окружающей среды позволяют более эффективно направлять лучи и выбирать частоты,что улучшает качество связи;

-Эффективное использование спектра: Динамическое управление частотами и лучами позволяет более эффективно использовать доступный спектр, что особенно важно в условиях высокой плотности пользователей;

-Снижение интерференции: Точные радиолокационные данные позволяют минимизировать интерференцию между пользователями и базовыми станциями, что повышает общую производительность сети;

-Синергия сенсоров и связи: Совмещение функций сенсоров и связи в одной системе позволяет снизить затраты и упростить архитектуру сети, делая её более гибкой и адаптивной.

Таким образом установлено, что использование данных ISAC/DFRC для выбора рабочих частот и формирования пространственных лучей mMIMO базовых станций 6G обеспечивает существенное повышение помехоустойчивости передачи данных в условиях селективных замираний или деградации некоторых областей полосы частот рабочего диапазона, а также при наличии в канале существенной многолучевости, вызванной многократными отражениями сигнала от препятствий.

**4. Описание приобретенных знаний, умений и навыков**

Ознакомился со структурой Филиала ФГУП НИИР – СОНИИР, обеспечивающей методологию разработки радиотехнической продукции.

Ознакомился с деятельностью Филиала ФГУП НИИР – СОНИИР по анализу возможных диапазонов рабочих частот сети 6G.

Изучил материал книги «Сети 6G. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков» [1] и статей: «6G беспроводная связь посредством миллиметровых волн терагерцового диапазона» [2] и «Техника обработки сигнала 6G» [3].

Изучил особенности радиоканалов сети 6G и варианты организации их сканирования.

Узнал основные задачи систем связи 6G и какие показатели качества характеризуют их эффективность их работы.

Рассмотрел использование данных ISAC/DFRC для выбора рабочих частот и направлений работы базовых станций 6G, а также выяснил, как формируются пространственные лучи mMIMO.

Приобрел умение оценивать показатели качества связи 6G и знание основных подходов к оптимизации радиосвязи.

Приобрел навыки анализа научно-исследовательской информации, ознакомился с терминами, использующимися в современной радиотехнической литературе, получил представление о развитии беспроводной связи.

**Список использованных источников**

1. Тонг В., Чжу П. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков. От подключенных людей и вещей к подключенному интеллекту; под ред. В. Тонг, П. Чжу / Вэнь Тонг, Пейин Чжу; пер. с англ. В.С. Яценкова. – М. : ДМК Пресс, 2022. – 624 c.ГОСТ 24375-80. Радиосвязь. Термины и определения. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1986 г.

2. Tripathi S., Sabu N. V., Gupta A. K., Dhillon H. S. Millimeter-wave and Terahertz Spectrum for 6G Wireless // Computer Communications and Networks. – 20 Feb. 2021.

3. Mucchi L., Shahabuddin S., Albreem M.A.M., Abdallah S., Caputo S., Panayirci E., Juntti M. Signal Processing Techniques for 6G // Journal of Signal Processing Systems. – 2 February 2023. – 95:435–457.

**ОТЗЫВ О ПРОХОЖДЕНИИ ПРАКТИКИ**

Вид практики: Производственная практика

Тип практики: Технологическая практика

Сроки прохождения практики с 01.07.2024 г по 19.07.2024 г.

по направлению подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

студентом группы 6211-110501D Красовым С.М.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Критерии оценивания | Оценка |
| 1. | Общая систематичность и ответственность работы в ходе практики | Отлично |
| 2. | Достижение планируемых результатов практики | Отлично |
| 3. | Корректность в сборе, анализе и интерпретации представляемых данных | Отлично |
| 4. | Степень личного участия и самостоятельности практиканта в представляемом отчёте о практике | Отлично |
| 5. | Качество оформленной отчётной документации | Отлично |
|  | ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА | Отлично |

Считаю, что производственная практика выполнена в полном объеме и заслуживает оценки «Отлично».

Руководитель практики от организации­­­­­­­­­­ к.т.н., ­в.н.с.

Самарского филиала ФГБУ НИИР – «СОНИИР» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Маслов Е.Н.