

На правах рукописи

Петросян Манвел Мгерович

Искусственное радиоосвещение. Получение изображений

Специальность 01.04.03 – «Радиофизика»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2020

Работа прошла апробацию на кафедре «Радиотехники и систем управления»
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет)»

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор
Дмитриев Александр Сергеевич

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский
технологический университет".

Защита состоится 22.12.2020 в 10:00 на заседании диссертационного совета
ФРКТ.01.04.03.002 по адресу 141701, Московская область, г. Долгопрудный,
Институтский переулок, д. 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Московского
физико-технического института (национального исследовательского
университета) [https://mipt.ru/education/post-graduate/soiskateli-fiziko-
matematicheskie-nauki.php](https://mipt.ru/education/post-graduate/soiskateli-fiziko-matematicheskie-nauki.php)

Работа представлена «07» октября 2020 г. в Аттестационную комиссию
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет)» для рассмотрения советом по защите
диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук в
соответствии с п.3.1 ст. 4 Федерального закона «О науке и государственной научно-
технической политике».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Основным каналом получения информации для человека является электромагнитное излучение – свет. Исторически слово «свет» долгое время означало исключительно свет, видимый глазом (помимо своего второго значения «мир»). Однако в 1800 году английский астроном Уильям Гершель заметил тепло, которое мог вызвать лишь свет, невидимый человеческому глазу. На основании этого Гершель сделал вывод о существовании в солнечном излучении компонент «незримого света». Так был открыт новый диапазон света – «инфракрасный свет».

В 1801 году немецкий физик и фармацевт Иоганн Вильгельм Риттер открыл еще один диапазон невидимого света – ультрафиолетовый.

Если заполнить весь электромагнитный спектр от низкой энергии и частоты до высокой энергии и частоты, получится, что у нас есть радиоволны, микроволновое излучение, инфракрасное излучение, рентгеновское излучение и гамма-излучение.

Даже после открытия ультрафиолетового и инфракрасного излучения способы изучать окружающий мир и, в частности, небо, изменились не сразу. Первый телескоп для наблюдения невидимой части электромагнитного спектра (радиотелескоп) построили лишь через 130 лет. К тому времени уже давно открыли и радиоволны, и рентгеновское излучение, и гамма-излучение, а Генрих Герц давно показал, что разные виды света отличаются на самом деле лишь частотой волны в каждой из полос спектра [1].

Важный вклад в расширение концепции света внес А. С. Попов, который начал заниматься исследованиями в области явлений, вызываемых токами высокой частоты, с того времени, когда получили известность опыты Г. Герца с электрическими колебаниями (1888 г.). Уже в 1889 г. он начал читать публичные лекции под названием «Новейшие исследования о соотношении между световыми и электрическими явлениями». Первая из них была прочитана на собрании минных и других морских офицеров в Кронштадте. В этой лекции он впервые указал на возможность использования электромагнитных волн для передачи сигналов на расстояние.

С точки зрения темы данной диссертации важно, что взаимосвязь между светом и радиоволнами была осознана Поповым на основе новейших достижений электродинамики того времени за несколько лет до изобретения им надежно работающего возбuditеля электромагнитных колебаний и радиоприемника. Одна из трех частей лекции называлась «Передача электрических колебаний в однородной непроводящей среде – электрические лучи, поляризация, отражение и преломление электрических лучей».

В диссертации рассматривается свет в радиодиапазоне – «радиосвет». Близкую терминологию в отношении излучения радиодиапазона использовал С.И. Вавилов. Так в [2] он писал: «...Те электрические волны, которые излучаются радиостанциями, также распространяются со скоростью 300 000 км/с и обладают периодичностью; стало быть, и они должны рассматриваться как световые волны...». «Световая» терминология встречается по отношению к электромагнитному излучению микроволнового и радиодиапазона и у других авторов [3,4].

В качестве источников светового излучения часто выступают естественные источники, например, солнце или собственное тепловое излучение. Характерной чертой такого света является его некогерентность и шумовой характер. Некогерентность свойственна тепловому электромагнитному излучению естественных источников и в других участках спектра.

Под радиосветом будем понимать искусственно созданное шумовое (шумоподобное) поле широкополосного (сверхширокополосного) некогерентного в пространстве и во времени излучения в радио или микроволновом диапазоне длин волн.

Радиоосвещение создается с помощью одного или нескольких источников широкополосного или сверхширокополосного (СШП) некогерентного микроволнового излучения – источников радиосвета [5-7]. Попадая на близлежащие поверхности и предметы, радиосвет частично поглощается в них, частично проходит через них и частично отражается. Тем самым, распространяясь далее, он несет в себе информацию о среде, с которой взаимодействует. Отличие

радиосвета от света видимого диапазона заключается в том, что это другой частотный диапазон и другие законы взаимодействия со средой. Принципиальной особенностью радиосвета по отношению к обычному свету является разница в характерном диапазоне частот (примерно на пять порядков) для света и радиосвета, позволяя извлекать информацию об окружающей среде, недоступную для света в видимом диапазоне частот.

Для того, чтобы в полной мере реализовать концепцию радиосвета, необходимы подходящие источники радиосвета. Исследования в направлении создания эффективных малогабаритных источников микроволнового радиоосвещения в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН привели в 2016 году к разработке ламп радиосвета, в которых в качестве источников шумоподобного СШП излучения используются генераторы хаотических колебаний [5-8].

Имея источники радиосвета, можно освещать отдельные области пространства и тем самым создавать предпосылки для наблюдения этих областей, включая и объекты, находящиеся в них.

Но создание источников радиосвета – только часть задачи. Для извлечения информации об объектах, находящихся в зоне радиоосвещения, нужны специальные приборы или системы таких приборов.

Данная работа посвящена исследованию радиосвета с целью его использования для получения информации об окружающей среде. В частности, предлагаются способы и методы приёма радиосвета, возможные сценарии его применения, получение изображений в радиосвете и перспективы развития средств и систем наблюдения на основе радиосвета.

Диссертация выполнена в рамках работ по исследованию радиосвета и его приложений, проводимых в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, где автор является одним из основных участников группы, развивающей данное направление. Ход и результаты этих исследований оказали важное влияние при формулировании темы диссертации и ее конкретных задач.

Актуальность работы определяется большим интересом к средствам наблюдения в микроволновом диапазоне за окружающей средой в задачах

обеспечения безопасности, обнаружения объектов, скрытых за непрозрачными для видимого света препятствиями, создания систем технического зрения для роботов и для беспилотных автомобилей.

Цель работы состоит в исследовании возможностей применения радиосвета в задачах наблюдения за окружающей средой, включая анализ и формулировку требований к источникам радиосвета, анализ принципов приема радиосвета, экспериментальное исследование приема радиосвета, разработку средств для получения изображений в радиосвете.

Основные задачи, решаемые в работе:

- формулировка требований к шумовым/шумоподобным источникам излучения, которые могут использоваться в качестве источников радиосвета;
- определение путей создания приемника радиосвета, разработка математической модели приемника радиосвета, численное моделирование радиометрического способа накопления сигнала в приемнике радиосвета для повышения его чувствительности;
- создание экспериментальной установки на основе приемника радиосвета и ламп радиосвета для изучения возможности получения изображений в радиосвете;
- теоретическая и экспериментальная оценка разрешающей способности при получении изображений в радиосвете;
- разработка принципов создания эффективных систем наблюдения в радиосвете.

Научная новизна результатов заключается в том, что:

- разработана и исследована теоретическая модель ячейки приемника радиосвета;
- впервые проведены эксперименты по приему радиосвета, показано, что уровень мощности поступающего в приемник радиосвета чувствителен к движению тел в радиоосвещенной среде, показано, что изменение уровня радиосвета в закрытых помещениях при изменении расстояния между приемником и источником радиосвета происходит без интерференционных эффектов;

- продемонстрирована возможность получения изображения радиоосвещенной среды и объектов, находящихся в этих средах;
- показана принципиальная возможность создания систем радиовидения на основе радиосвета;
- предложены и проанализированы два подхода к созданию эффективных средств наблюдения за окружающей средой на основе радиосвета.

Достоверность результатов подтверждается соответствием расчетов и оценок, полученных и используемых автором, теоретическим положениям, известным из литературы, соответствием результатов теоретических расчетов результатам экспериментальных исследований, характеристиками разработанных аппаратных и программных решений.

Основные научные положения и результаты, выносимые на защиту:

- принцип создания ячейки приемника радиосвета, основанный на определении интегральной энергии радиосвета, поступающей в приемник за фиксированный интервал времени;
- анализ характера изменения мощности поступающего на приемник радиосвета при изменении расстояния между источником и приемником радиосвета, а также анализ изменения освещенности среды при наличии в ней движущихся объектов;
- получение изображений в радиосвете на основе измерения распределения уровня радиоосвещенности путем сканирования пространства лучом антенны с узкой диаграммой направленности;
- результаты анализа влияния формы и материала объектов на их изображения в радиосвете;
- экспериментальные макеты систем наблюдения в радиосвете на основе мобильных групп роботов и многолучевых приемных систем.

Научно-практическое значение полученных результатов заключается в том, что впервые проведен комплекс работ, в котором экспериментально доказана возможность и перспективность использования концепции радиосвета для наблюдения за окружающим пространством и разработан ряд технических

решений, которые могут быть использованы при разработке и создании систем наблюдения за окружающей средой в радиосвете.

Апробация работы

Основные результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на следующих международных и российских научных конференциях: VIII, IX и X Всероссийских Армандовских чтениях, (Муром, Россия, 2018, 2019, 20), Докладах 11, 12, 13 Всероссийской научно-технической конференции «Радиолокация и радиосвязь» (Москва, Россия, 2017, 2018, 2019), XVIII и XIX-ой научных школах «Нелинейные волны» (Н. Новгород, Россия, 2018, 2020), Докладах 28, 29 и 30 Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, Россия, 2018, 2019, 2020), 38-ом международном симпозиуме «Достижения в электромагнитных исследованиях PIERS'2017» (Санкт-Петербург, Россия, 2017), 9-ой межд. конф. «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации ARMIMP-2017» (Суздаль, Россия, 2017), 2-й межд. конф. «Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности» (Москва, Россия, 2019), «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях СИНХРОИНФО 2019» (Ярославль, Россия, 2019), Всероссийской с международным участием молодежная научно-практическая конференции и выставки «Радиотехнические системы» (Ярославль, Россия, 2019)

По теме диссертации опубликовано 26 печатных работ, в том числе 7 статей в изданиях, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 19 работ в трудах научных конференций.

Личный вклад автора. Личный вклад автора заключается в участии в постановке научных задач, определении методов и подходов к их решению, проведении части расчётов и компьютерного моделирования, в подготовке и проведении экспериментов. Все вошедшие в диссертацию результаты получены лично автором, либо при его непосредственном участии.

Структура и объём работы: диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Содержит 132 страницы, 59 рисунка, 1 таблицы. Список цитированной литературы содержит 77 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ.

Во **Введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель и задачи исследований, изложены положения, выносимые на защиту, и краткое содержание работы.

В **Первой главе** рассматривается концепция некогерентного (шумоподобного) излучения в радио и СВЧ диапазоне для наблюдения окружающего пространства от А.С. Попова и С.И. Вавилова до наших дней (радиометрические методы наблюдения из космоса, в медицине и др.).

Особое внимание уделяется работам И. Поливки, где представлена аналогия между видимым (в том числе белым светом) и шумовым широкополосным излучением в радиодиапазоне, а также предложены эксперименты по использованию такого типа излучения.

Проведен обзор существовавших до наших работ источников шумового радиоизлучения.

Рассмотрено понятие радиосвета с точки зрения создания перспективных систем наблюдения.

На основе анализа литературы и теоретических оценок сформулированы требования к искусственным микроволновым шумовым/шумоподобным источникам, предназначенным для радиоосвещения окружающей среды с целью ее последующего наблюдения в радиосвете.

Кратко описана лампа радиосвета, разработанная в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, ее характеристики и возможности для создания радиоосвещения.

Для того, чтобы наблюдать за окружающей средой в радиосвете нужны не только источники радиосвета, но и приемники.

Вторая глава диссертации посвящена созданию ячейки приемника радиосвета и ее применению.

С этой целью сделан краткий обзор «природных» систем наблюдения за окружающим пространством при помощи света видимого и инфракрасного диапазона – глаз животных.

Проведен анализ потенциальных возможностей использования радиосвета для наблюдения за окружающим пространством. Показано, что первым шагом в этом направлении является, по аналогии с колбочками глаз животных, создание чувствительной ячейки радиосвета. Построена и исследована математическая модель такого элементарного приемника.

В главе предложена математическая модель приемника радиосвета на базе энергетического приемника с логарифмическим детектором и компенсационного радиометра, которая описывается системой дифференциальных уравнений

$$\dot{V}_1 + \gamma_1 \dot{V}_1 + \omega_1^2 V_1 = \omega_1^2 K S(t) \quad (1)$$

$$\dot{V}_2 + \gamma_2 \dot{V}_2 + \omega_2^2 V_2 = \omega_2^2 \lg(1 + V_1^2(t))$$

где $S(t)$ – сумма принятого антенной сигнала и теплового шума во входном тракте приемника; γ_1, γ_2 – коэффициенты затухания; $\omega_1 = 2\pi\Delta f$, $\omega_2 = 2\pi\Delta\Omega$ – частоты среза входного и выходного фильтра соответственно, K – коэффициент усиления усилителя.

На основе этой модели было проведено численное моделирование для оценки эффективности применения накопления сигнала для повышения пороговой чувствительности приемника радиосвета. В результате показано, что чувствительность моделируемого приёмника аналогична чувствительности радиометров на базе квадратичных детекторов с точностью до коэффициента:

$$\Delta P = \frac{bT_n}{\sqrt{\Delta f\tau}}, \quad (2)$$

где b -коэффициент, зависящий от типа приемника; T_n - температура приемника; τ - время накопления сигнала (постоянная интегрирования фильтра нижних частот); Δf – рабочий диапазон частот.

На основе проведенных исследований в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН была создана ячейка приемника радиосвета. Ячейка имеет динамический диапазон от -20 до -85 дБм (при времени накопления сигнала 0.1 с), полосу приема 3-5 ГГц, габариты 50x35x10 мм, возможность подключения к ПК по USB для передачи данных.

Предложено использование разработанной ячейки для создания датчиков движения, в том числе в условиях отсутствия освещения в видимом диапазоне света. Разработан программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования возможности построения датчиков движения на основе использования радиосвета, включающий в себя источники шумоподобного СШП излучения в диапазоне частот 3-5 ГГц (лампы радиосвета), ячейку приемника радиосвета, ноутбук и специально разработанное программное обеспечение. Проведены эксперименты по фиксации движения человека в поле радиосвета между источником и приемником, показавшие, что флуктуации приемного сигнала при перемещении объекта наблюдения лежат в диапазоне от десятых долей до единиц децибел, что в принципе достаточно для использования подобного устройств в качестве датчиков движения.

Создание и исследование ячейки радиосвета заложило основу для построения систем наблюдения с пространственным разрешением на основе радиосвета.

В ходе проведенных экспериментов подтверждено отсутствие интерференционных эффектов, свойственных системам с узкополосным излучением.

Третья глава посвящена получению изображений в радиосвете. В начале главы проводится обзор и анализ работ, посвящённых системам наблюдения в радио и микроволновом диапазоне частот. Отмечаются достоинства и недостатки классических методов получения информации об окружающей среде с помощью микроволнового излучения. Определяется круг задач, в которых использование систем на основе радиоосвещения может быть предпочтительнее.

Для проведения исследований по получению изображений в радиосвете создана экспериментальная установка, включающая в себя ячейку радиосвета, специально

разработанную СШП направленную зеркальную антенну с рупорным облучателем, персональный компьютер и созданное для проведения измерений программное обеспечение.

Приемный комплекс предназначен для работы с источниками радиосвета в диапазоне 3-5 ГГц.

Ширина диаграммы направленности антенны по мощности и уровню -3 дБ для такого СШП сигнала составила около 10 градусов в горизонтальной и в вертикальной плоскостях. Пространственная картина радиоосвещенной области создавалась в результате сканирования интересующей области лучом антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Изображение строилось на основе значений принятой мощности сигнала для всех пар углов из заданной прямоугольной области.

Эксперименты проводились в конференц-зале ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН (размер помещения 18x10 м). Сначала было получено изображение зала без искусственных источников радиоосвещения, что позволило оценить фоновый уровень освещенности, создаваемой другими источниками радиоизлучения (тепловое излучение, сотовые станции, Wi-Fi роутеры и др.). В результате экспериментов было установлено, что средняя освещенность зала составила -73 дБм, минимальная -83 дБм, а также наблюдались области с яркостью до -60 дБм.

На следующем этапе зал был освещен одним источником радиосвета. Он размещался в противоположном конце зала так, что расстояние до антенны приёмника составляло 10 м. В результате эксперимента наблюдалось увеличение минимального уровня освещённости зала до -65 дБм, среднего – до -60 дБм; на месте расположения лампы наблюдалось пятно с яркостью в максимуме до -40 дБм.

Некогерентность радиосвета позволяет использовать несколько ламп для освещения области пространства аналогично источникам света видимого диапазона. Для проверки этой возможности были проведены эксперименты в тех же условиях, что и в предыдущей серии, с той разницей, что вместо одной лампы использовались шесть одновременно работающих ламп радиосвета. Они были

установлены в стандартных патронах осветительных люстр зала. Люстры расположены над полом на высоте примерно 3 м.

На полученном изображении (рис. 1) лампы создали области яркой освещенности вокруг люстр, обусловленные их сложной рассеивающей геометрией.

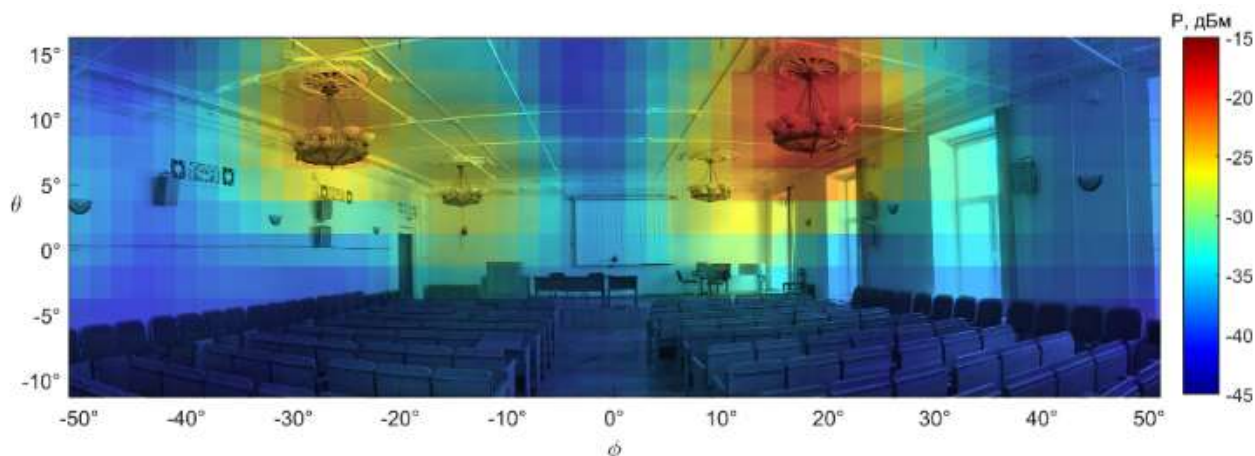


Рис. 1. Изображение конференц-зала при освещении шестью лампами радиосвета, наложенное на фотографию зала в видимом свете.

Мощность, отображаемая в пикселях рисунка, варьируется от -18 дБм в центре до -35 дБм на границе этих ярких областей. В остальных точках получилось достаточно равномерное световое освещение, варьирующееся в диапазоне от -40 дБм до -38 дБм. При включенных лампах освещенность в точке приема выросла в среднем более чем на 30 дБ по отношению к фоновому уровню. Это говорит о наличии достаточного энергетического запаса для наблюдения объектов в отражённом радиосвете, что позволяет перейти к экспериментам по получению изображений в радиосвете объектов с разными электромагнитными свойствами и изучению их характеристик.

При выборе объектов исследования обращалось внимание на их размер, форму и электромагнитные свойства. Были выбраны: куб, покрытый металлической фольгой; кювета с водой; плюшевый поролоновый медведь и листы из радиопоглощающего материала. Предварительно перед внесением объекта в зону получения изображения производилось измерение фонового изображения, чтобы зафиксировать изменение, вносимое объектом.

Получены отклики (изображения) упомянутых выше предметов на расстояниях, близких к границе между дальней зоной и зоной Френеля.

Экспериментально продемонстрирована возможность получения изображений предметов, находящихся за препятствием на примере кирпичной стены толщиной 30 см. Показано, что при дополнительном затухании 6-8 дБ обеспечивается надежное получение изображений практически без ухудшения качества.

Для того, чтобы создать систему радиовидения на основе радиосвета, необходимо удовлетворять требованиям по разрешающей способности и возможности визуализировать контуры наблюдаемых объектов. Эксперименты, проведенные ранее, показали возможность фиксации контуров наблюдаемых объектов на получаемом изображении. Далее были проведены эксперименты для оценки разрешающей способности.

При соответствующей настройке антенны приемника измерительного комплекса проведены эксперименты по получению изображений объектов в зоне Френеля в свободном пространстве, была достигнута разрешающая способность 7-10 см, что примерно соответствует длине волны радиосвета (рис. 2).

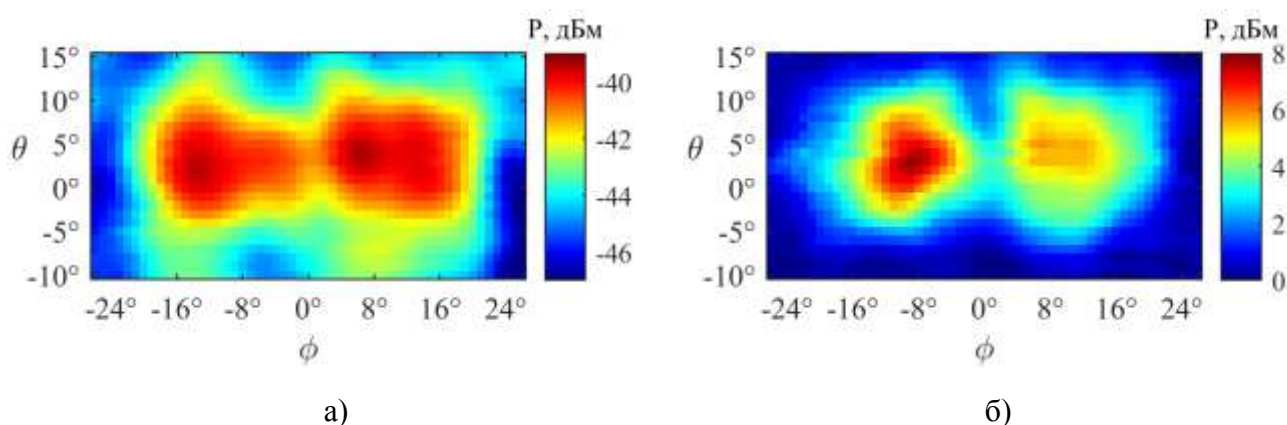


Рис. 2. Эксперимент при расположении объектов на расстоянии 1.5 м от антенны: а) Изображение объектов при расстоянии 7.5 см между их гранями; б) Разностное изображение объектов при расстоянии 7.5 см между их гранями.

Исследования, проведенные в предыдущих главах, показали научно-техническую обоснованность использования радиосвета для создания наблюдательных систем.

В третьей главе для формирования изображения в радиосвете производилось механическое сканирование узким лучом антенны, однако этот способ мало

пригоден для реальных систем наблюдения в силу своей низкой производительности.

Четвертая глава посвящена разработке перспективных способов наблюдения за окружающей средой в радиосвете. В качестве этих способов рассматривается возможность применения многолучевых приемных приборов и распределенный приемник, состоящий из независимых ячеек приемника радиосвета, расположенных на мобильных роботах.

Использование многолучевых приемных систем в качестве наблюдательных приборов в радиосвете позволит одновременно наблюдать за несколькими областями среды, снижая временные затраты на сканирование интересующей области. Радиосвет имеет быстроспадающую функцию автокорреляции, время автокорреляции которой равно величине, обратной ширине полосы радиосвета. Поэтому для формирования диаграммы необходимо создавать временные задержки между элементами антенной решетки так, чтобы для заданного направления сигнал суммировался в пределах времени автокорреляции.

Для создания многолучевой наблюдательной системы необходима диаграммообразующая система (ДОС). Существуют три основных типа ДОС: цифровые, матричные и линзовые. Исходя из соображений простоты реализации, была выбрана линзовая ДОС. В качестве линзы была выбрана линза Ротмана по причине простоты её реализации в печатных платах и возможности её дальнейшей интеграции как с антеннами, так и с приемниками радиосвета. Был разработан и реализован макет линзы Ротмана с 7 лучами, полосой 3-5 ГГц, сектором сканирования 60 градусов, имеющий размер 20x20 см.

С разработанным макетом были проведены эксперименты, подтверждающие возможность формирования лучей с заданным угловым сдвигом (рис. 3). Ширина диаграмм направленностей, полученных в результате эксперимента по приему радиосвета в полосе 3-5 ГГц по уровню -3 дБ равна 22 градусов.

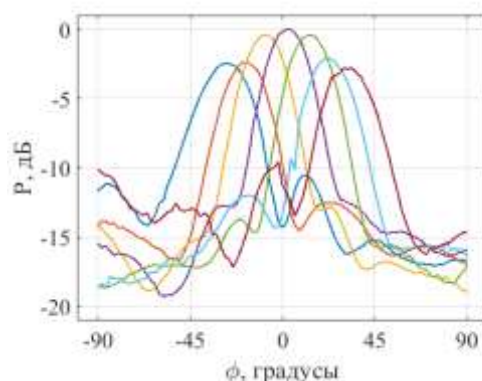


Рис. 3. Диаграммы направленности для 7 лучей, полученные экспериментально при приеме радиосвета 3-5 ГГц

Еще одним способом наблюдения за радиоосвещенной средой может являться система из независимых ячеек приемников радиосвета, расположенных на мобильных роботах, данные которых можно комбинировать и реализовывать таким образом распределённый приемник.

Приемники радиосвета, расположенные на компактных роботах, могут быть реализованы как с всенаправленными антеннами, так и с многолучевыми направленными антеннами. Такие мобильные роботы могут выполнять задачи измерения распределения освещенности среды, детектирования движущихся объектов и, в том числе использовать данные по освещенности среды для собственного позиционирования. Для реализации такого распределённого приемника и взаимодействия мобильных групп роботов необходимы, в том числе, надежные системы связи, способные в реальном времени менять свою топологию в зависимости от перемещения роботов и обеспечивающие разделение каналов передачи данных для защиты от коллизий в многоэлементной системе. Для решения задачи создания беспроводной сети, размещенной на мобильных роботах, предлагается использовать СШП прямохаотические системы связи по причине устойчивости такого типа сигнала к многолучевому распространению, что важно для обеспечения надежной коммуникации. С этой целью была разработана система связи для обеспечения канала передачи данных между роботами и базовой станцией, проанализированы её временные характеристики.

В Заключение суммируются полученные результаты и делаются выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Диссертационная работа посвящена исследованию задачи освещения предметов и поверхностей искусственными некогерентными источниками микроволнового излучения – радиосвета с целью их последующего наблюдения при помощи специальной приемной аппаратуры. Особое внимание уделено получению изображений в радиосвете и анализу особенностей, возникающих в зависимости от наблюдаемых в радиосвете объектов.

Получены следующие основные результаты.

1. На основе анализа литературы и теоретических оценок сформулированы требования к минимальной мощности искусственных шумовых/шумоподобных источников излучения для их использования в качестве источников радиосвета.

2. Предложена математическая модель ячейки приемника радиосвета. На основе предложенной модели проведены расчеты по оценке чувствительности приемника при приеме радиосвета и в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН был создана ячейка приемника радиосвета.

3. Разработан программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования возможности обнаружения движения объектов на основе использования радиосвета. Проведены эксперименты по фиксации движения объекта в поле радиосвета между источником и приемником, и подтверждена возможность использования предложенного подхода для создания датчиков движения.

4. Рассмотрены возможности получения изображений в радиосвете с использованием направленных СШП приемных систем. С этой целью разработан экспериментальный комплекс для получения изображений в радиосвете сантиметрового диапазона. С его помощью получены изображения помещения в радиосвете как при освещении пространства одним источником радиосвета, так и при одновременном включении множества источников. Показана возможность фиксации на этих изображениях изменений, связанных с появлением новых предметов. Экспериментально продемонстрировано наблюдение объектов за препятствием с уровнем поглощения сигнала 6-8 дБ.

5. Рассмотрены некоторые возможные направления создания систем наблюдения за окружающей средой на основе радиосвета, в том числе многолучевые системы и группы мобильных роботов, и проведена экспериментальная апробация их элементов.

3. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в журналах из списка ВАК РФ

1. Дмитриев А.С., Кикот А.М., Петросян М.М. "Модель чувствительного элемента для радиосвета", Физические основы приборостроения. 2016. т. 5, №3 (20), с. 18-28.
2. Дмитриев А. С., Ицков В. В., Попов М. Г., Петросян М. М., Рыжов А. И. Экспериментальное исследование беспроводной сети прямохаотических сверхширокополосных приемопередатчиков для мобильных объектов // Физические основы приборостроения. 2018. Т. 7. № 1(27). С. 80–90.
3. Гуляев Ю.В., Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Рыжов А.И., Уваров А.В. Экспериментальная ячейка приемника радиосвета // Письма в ЖТФ. 2018.Т. 44, № 21. С. 81-90.
4. Гуляев Ю.В., Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Рыжов А.И., Уваров А.В. Ячейка приемника радиосвета // Радиотехника и электроника. 2018, т. 63, № 9, с. 1-7.
5. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Попов М.Г., Рыжов А.И. Искусственное радиоосвещение: источники, приемники и получение изображений // Физические основы приборостроения. 2018. Т. 7. № 3(29). С. 50–63.
6. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Попов М.Г., Рыжов А.И. Искусственное радиоосвещение в закрытом пространстве // Радиотехника и электроника. 2019. Т. 64. №9. С. 916-925.
7. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Рыжов А.И. "Разрешающая способность при получении изображений в искусственном радиосвете" // ФОП, 2020. Т. 9. №1 (35).

Доклады на конференциях

1. A. Dmitriev, V. Itskov, A. Ryzhov, M. Gerasimov and M. Petrosyan, "The unit cell of radiolight receiver," 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS), St. Petersburg, 2017, pp. 3144-3148, doi: 10.1109/PIERS.2017.8262298.
2. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Рыжов А.И., Герасимов М.Ю. «Ячейка приемника радиосвета». 9-ая межд. конф. "Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации" (ARMIMP-2017). 1-4 октября 2017 г. Суздаль, Россия
3. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Рыжов А.И., Герасимов М.Ю. «Ячейка приёмника радиосвета с накоплением». Труды XI конф. «Радиолокация и радиосвязь». 27-29 ноября 2017 г. Москва, Россия

4. Дмитриев А. С., Рыжов А. И., Попов М. Г., Ицков В. В., Петросян М. М. «Экспериментальное исследование беспроводной сверхширокополосной сети для мобильных объектов», КРЫМИКО 2018.
5. А.С. Дмитриев, А.И. Рыжов, М.Г. Попов, В.В. Ицков, М.М. Петросян «Сверхширокополосные сети приёмопредатчиков для групп мобильных объектов», VIII Всероссийские Армандовские чтения, Муром, 26.06-28.06 2018.
6. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Рыжов А.И. «Приемник радиосвета с накоплением», VIII Всероссийские Армандовские чтения, Муром, 26.06-28.06 2018.
7. А.С. Дмитриев, Е.В. Ефремова, В.В. Ицков, М.М. Петросян «Радиосвет: концепция и научно технические решения», VIII Всероссийские Армандовские чтения, Муром, 26.06-28.06 2018.
8. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Рыжов А.И. «Приемник радиосвета с цифровым накоплением», Нелинейные волны-2018, Нижний Новгород, 2018г.
9. Дмитриев А.С., Рыжов А.И., Ицков В.В., Петросян М.М., Попов М.Г. Искусственное радиоосвещение: визуализация объектов // Доклады XII Всероссийской науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь», 26–28 ноября 2018 г., Москва, Россия.
10. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Попов М.Г., Петросян М.М., Рыжов А.И., Попов М.Г. Экспериментальная беспроводная сеть сверхширокополосных приемопередатчиков для мобильных объектов // Доклады XII Всероссийской науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь», 26–28 ноября 2018 г., Москва, Россия.
11. A. I. Ryzhov, A. S. Dmitriev, V. V. Itskov, M. M. Petrosyan and M. G. Popov, "Image Acquisition with Artificial Radio Lighting," 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Russia, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814197.
12. Dmitriev A.S, Itskov V.V., Petrosyan M.M., Popov M.G., Ryzhov A.I. Image acquisition using artificial microwave radio lightning. ITM Web of Conferences. 30. 12002 (2019). CriMiCo 2019. DOI: 10.1051/itmconf/20193012002.
13. М.М. Петросян, В.В. Ицков, М.Г. Попов, А.И. Рыжов «Искусственное радиоосвещение: получение изображений», //Всероссийская с международным участием молодежная научно-практическая конференция и выставка «Радиотехнические системы», 2019 г., г. Ярославль
14. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Попов М.Г., Рыжов А.И. «Получение изображений на основе искусственного радиоосвещения», //Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн», г.Муром, 2019
15. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Попов М.Г., Рыжов А.И. Сверхширокополосные средства беспроводной связи и активные радиометки для Интернета вещей и Интернета робототехники. Труды 2-й межд. конф. «Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности». 7-8 февраля 2019 г., Москва. Россия. — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2019. с. 72-82. doi:10.20948/future-2019-7.

16. Дмитриев А. С., Ицков В. В., Петросян М. М., Попов М. Г., Рыжов А. И. «Построение радиоизображений: источник и приемник радиосвета» XIII Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». Сборник трудов. – Москва, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. – 25-27 ноября 2019 г. – 290 с.: ил..
17. Петросян М.М., Рыжов А.И. «Получение изображений объектов при искусственном радиоосвещении» Нелинейные волны-2020, Нижний Новгород, 2020.
18. Петросян М.М. «Многолучевые приборы на основе линзы Ротмана для задач наблюдения в радиоосвещенных средах» //Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн», г.Муром, 2020
19. Петросян М. М. «Линза Ротмана в задаче наблюдения за радиоосвещенной окружающей средой» // 30-я Международная конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 6—12 сентября 2020 г. Севастополь, Крым, Россия

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ В АВТОРЕФЕРАТЕ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тайсон Н.Д. Астрофизика с космической скоростью. М.: Изд. АСТ. 2018. 235 с.
2. Вавилов С.И. Глаз и солнце. С-Пб.: Амфора 2006. 334 с.
3. Спиридонов О.П. Свет. Физика. Информация. Жизнь – М.: Ленанд, 2015. 218 с.
4. Polivka J., Fiala P., Machac J. // Progress in Electromagnetics Research. 2011. V. 111. P. 311.
5. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., М.Ю. Герасимов М.Ю., В.В. Ицков В.В. // РЭ. 2016. Т. 61. № 11. С. 1–11.
6. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В. // Письма в ЖТФ. 2016. Т. 42. № 24. С. 49-57.
7. Dmitriev A.S., Efremova E.V. // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2017. V. 20, No. 2, P. 133 – 143
8. Ефремова Е.В. // Письма в ЖТФ. 2018. Т. 44. № 9. С. 26-33.