

линиям, позволяет в режиме реального времени изменять основные и резервные маршруты в зависимости от складывающейся обстановки. Используемый в способе мониторинга алгоритм Дейкстры позволяет оценить достижимость всех узлов связи сети и на основе этого построить резервные маршруты между всеми сетевыми узлами и станциями в сети. При определении оптимальных основного и резервных маршрутов можно исключать радиорелейные и проводные линии по отдельности, тем самым обеспечив большее количество резервных маршрутов.

Список используемых источников

1. Журавлёв Д. А., Радюк И. А., Богачев К. Г. Способ мониторинга качества связи между многоканальными средствами связи // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте ‘2013». Т. 9. Технические науки. Одесса: Черноморье, 2013. 96 с.
2. Журавлёв Д. А., Чечелев К. Н. Способ мониторинга радиоканала связи // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2013. № 6. С. 78–80.

ПОДХОДЫ К ПРОСТРАНСТВЕННО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОМУ ПРЕДСТАВЛЕНИЮ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИКИ КВАТЕРНИОНОВ

С.В. Богдановский, А.Н. Симонов

В статье рассмотрены новые подходы к пространственно-поляризационной обработке радиосигналов с беспилотного летательного аппарата. Предложена пространственно-поляризационная модель источника радиоизлучения на основе математики кватернионов. В модели учитываются пространственные и поляризационные параметры, в качестве которых выступают азимут, угол места, расстояние до источника, угол наклона эллипса поляризации, отношение его полуосей и направление вращения вектора электрического поля.

Ключевые слова: пространственно-поляризационная обработка радиосигналов, радиопеленгование, кватернион, беспилотный летательный аппарат, модель.

NEW WAYS A SPATIAL-POLARIZATION REPRESENTATION OF RADIO EMISSION SOURCE BASED ON MATHEMATICAL OF QUATERNIONS

Bogdanovsky S., Simonov A.

The paper considered new ways of spatial-polarization representation of radio signals from an unmanned aerial vehicle. Spatial-polarization model of radio emission source based on quaternions mathematics is offered. Spatial and polarization parameters, such as azimuth, elevation, distance to radio source, tilting angle of polarization ellipse, ratio of its semiaxes and direction of electric field vector rotation are accounted.

Keywords: spatial polarization processing of radio signals, radio location, quaternion, unmanned aerial vehicle, model.

В последние годы все большее внимание уделяется разработке современных средств и комплексов радиомониторинга на платформе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Средства на БПЛА обладают целым рядом достоинств, по сравнению с наземными средствами: обеспечение электромагнитную доступность на расстояния в десятки и даже сотни километров в ОВЧ-СВЧ диапазонах; мобильность и возможность быстрого и гибкого выбора района применения; возможность применения в труднодоступных районах.

Использование этих достоинств при пеленговании источников радиоизлучения (ИРИ) приводит к повышению точности определения местоположения (ОМП) ИРИ. Иллюстрация оценки точности ОМП ИРИ наземными и воздушными средствами радиомониторинга представлена на рис. 1 и 2.

Для обнаружения радиоизлучений и пеленгования их источников в комплексе радиомониторинга на БПЛА используется малогабаритный радиопеленгатор, однако его применение связано с рядом проблем, основными из которых являются усложнение сигнально-помеховой обстановки (СПО) на входе бортового радиоприемного устройства и нестабильность пространственного положения и ориентации БПЛА в полете [1].

Одним из направлений повышения точности пеленгования радиосигналов в сложной СПО является использование методов пеленгования повышенного разрешения, основанных на пространственно-временном анализе радиосигналов, а также учете поляризации как дополнительного параметра при определении углов прихода радиоизлучения. Использование указанных методов зависит от ряда факторов, исследование которых обуславливает актуальность создания пространственно-поляризационной модели источника радиоизлучения на основе математики кватернионов.



Рис. 1. Иллюстрация оценки точности ОМП ИРИ наземными средствами радиомониторинга



Рис. 2. Иллюстрация оценки точности ОМП ИРИ воздушными средствами радиомониторинга

В качестве подхода к моделированию пространственно-поляризационного представления радиоизлучения традиционно используется вектор Пойнтинга [2], который характеризует направление и величину плотности потока мощности электромагнитного поля от источника, в каждой точке пространства: $\vec{P} = [\vec{E}, \vec{H}]$. Вектор Пойнтинга совпадает с направлением распространения радиоизлучения, поэтому он удобен для описания пространственных свойств радиоизлучения через традиционные азимут θ и угол места β (рис. 3).

Достоинством такого представления пространственных свойств радиоизлучения является наглядность, основанная на традиционности параметров азимута и угла места, а также возможность использовать для пространственных преобразований простых тригонометрических соотношений.

В качестве подхода к моделированию поляризационного представления радиоизлучения наиболее удобно описание обобщенной эллиптически поляризованной волны в виде двух ортогональных линейно-поляризованных волн. Модель представлена проекциями вектора напряженности электрического поля $\vec{E}$ на координатные оси OX и OY при совпадении направления распространения с осью OZ . В зависимости от значений амплитуд E_{xm} , E_{ym} и фаз φ_x , φ_y ортогонально поляризованных волн с линейной поляризацией, формируется необходимая поляризационная структура (рис. 4).

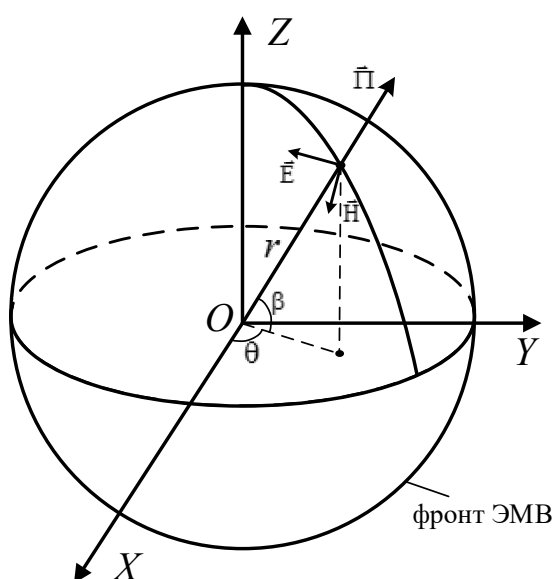


Рис. 3. Пространственное представление радиосигнала

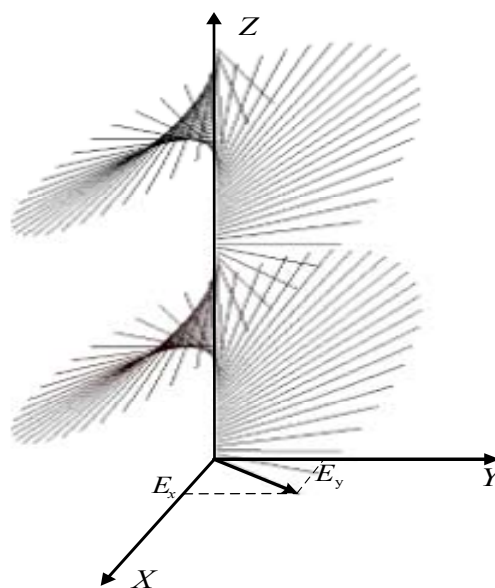


Рис. 4. Представление радиосигнала эллиптической поляризации

В пространственно-поляризационной модели радиоизлучения предлагается объединить частотное, поляризационное, пространственное и энергетическое представления радиосигнала (рис. 5).

Традиционным подходом к описанию пространственного положения и ориентации твердого тела в пространстве является методы углов Эйлера и Крылова, однако одним из современных методов, успешно развивающимся

в последние годы и нашедшим эффективное применение является кватернионный метод [3].

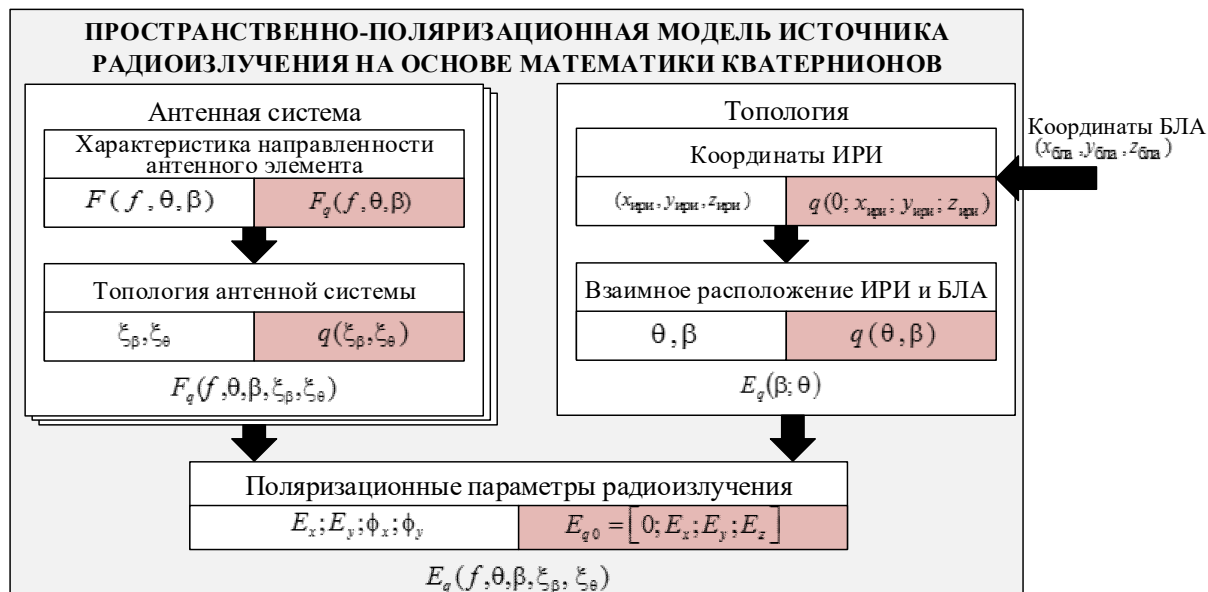


Рис. 5. Пространственно-поляризационная модель источника радиоизлучения на основе математики кватернионов

Главным достоинством кватернионов при решении задач вращения, перемещения и движения является тесная связь кватернионов с векторами, заданными в трехмерном пространстве. Кватернионные формулы справедливы для любой декартовой системы координат. Важно лишь, чтобы все кватернионы, участвующие в формуле, были представлены в одной и той же координатной системе [4].

Для использования математики кватернионов при решении задач пространственно-поляризационной обработки радиосигналов на БПЛА авторами были получены аналитические выражения для учета взаимного расположения источника радиоизлучения и БПЛА в пространстве (рис. 6).

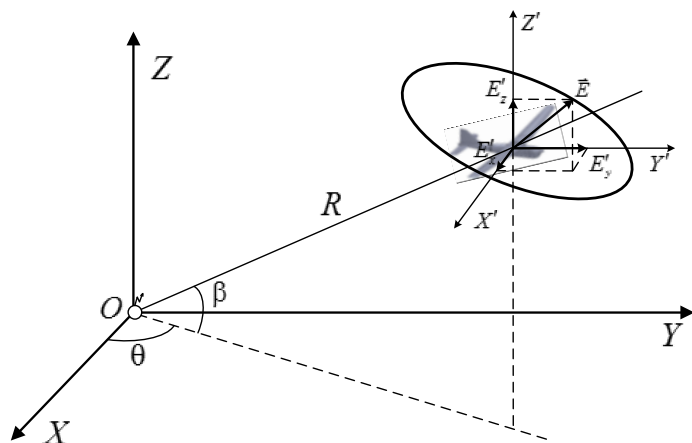


Рис. 6 Пространственно-поляризационное представление радиоизлучения

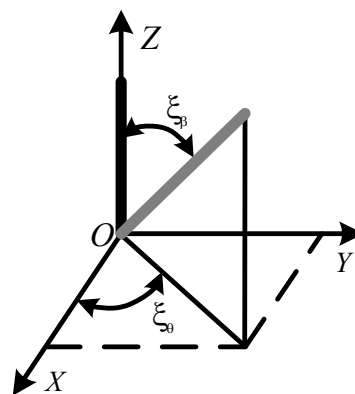


Рис. 7. Наклон антенны в пространстве

Выражение для описания пространственных свойств радиоизлучения с учетом азимута θ и угла места β примет вид:

$$E_q(\beta; \theta) = q(\beta; \theta) \circ E_{q_0} \circ q^{-1}(\beta; \theta),$$

где $E_{q_0} = [0; E_x; E_y; E_z]$ – кватернион напряженности электрического поля, $q(\beta; \theta)$ – половинный экспоненциальный кватернион суммарного поворота, $q^{-1}(\beta; \theta)$ – обращенный кватернион $q(\beta; \theta)$, $\circ$ – знак кватернионного умножения.

Энергетическая составляющая радиосигнала учитывается за счет использования характеристики направленности (ХН) антенной системы (АС) для которой получены аналитические выражения в кватернионной форме:

$$F_q(f, \theta, \beta) = \begin{bmatrix} 0 \\ F_x(f, \theta, \beta) \\ F_y(f, \theta, \beta) \\ F_z(f, \theta, \beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ F(f, \theta, \beta) \cos \beta \cos \theta \\ F(f, \theta, \beta) \cos \beta \sin \theta \\ F(f, \theta, \beta) \sin \beta \end{bmatrix}.$$

Для описания пространственного положения антенно-фидерной системы источника радиоизлучения используются углы наклона в горизонтальной плоскости – ξ_θ и вертикальной плоскости – ξ_β (рис. 7).

Выражение для описания пространственных характеристик диаграммы направленности источника радиоизлучения с учетом угла наклона и склонения антенны примет вид:

$$F_q(f, \theta, \beta, \xi_\beta, \xi_\theta) = q(\xi_\beta; \xi_\theta) \circ F_q(f, \theta, \beta) \circ q^{-1}(\xi_\beta; \xi_\theta),$$

где $q(\xi_\beta; \xi_\theta)$ – половинный экспоненциальный кватернион суммарного поворота, $q^{-1}(\xi_\beta; \xi_\theta)$ – обращенный кватернион $q(\xi_\beta; \xi_\theta)$.

Окончательное выражение для пространственно-поляризационной модели источника радиоизлучения на основе математики кватерниона примет вид [5]:

$$E_q(f, \theta, \beta, \xi_\beta, \xi_\theta) = \|F_q(f, \theta, \beta, \xi_\beta, \xi_\theta)\| \circ E_q(\beta; \theta).$$

Таким образом разработанная пространственно-поляризационная модель источника радиоизлучения на основе математики кватерниона позволяет моделировать радиоизлучение учитывая частотные, пространственные, поляризационные и энергетические характеристики источника радиоизлучения и БПЛА. Используемые при расчетах особые свойства кватернионов позволяют более эффективно реализовывать численные методы пространственно-поляризационной обработки радиосигналов на борту БПЛА. Полученные кватернионные выражения для пространственно-поляризационной обработки реализованы авто-

рами в программной модели многомерного радиосигнала, выполненной в программной среде LabVIEW.

Список используемых источников

1. Моисеев В. С. Российская беспилотная авиационная техника: основные проблемы и пути решения // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «X Научные чтения, посвященные памяти Н. Е. Жуковского»: сб. докладов. М.: Изд-во Академии им. Н. Е. Жуковского, 2013. С. 554–559.
2. Канарейкин Д. Б., Павлов Н. Ф., Потехин В. А. Поляризация радиолокационных сигналов. М.: Советское радио, 1966. 440 с.
3. Челноков Ю. Н. Кватернионные модели и методы динамики, навигации и управления движением. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 560 с.
4. Комплекснозначные и гиперкомплексные системы в задачах обработки многомерных сигналов / Под ред. Я. А. Фурмана. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 456 с.
5. Богдановский С. В., Симонов А. Н., Теслевич С. Ф., Шайдулин З. Ф. Пространственно-поляризационная обработка радиосигналов при пеленговании источников радиоизлучения с беспилотного летательного аппарата // Наукоемкие технологии. 2015. № 12. С. 50–55.

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТЕРИАЛЬНОГО ПОДХОДА К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ СВЯЗИ

И.Б. Ведерников

В статье приведен анализ факторов негативного воздействия на состояние окружающей среды при обращении с отходами строительства подземных линейно-кабельных сооружений связи. Выявлена схема формирования качественных характеристик антропогенного воздействия на природную среду при техногенной миграции вредных контаминантов с отходами почвогрунта. Предложены критерии для разработки модели комплексной оценки экологической безопасности не только объекта строительства, но и объекта негативного воздействия – объекта размещения строительных отходов.

Ключевые слова: охрана окружающей среды; отходы производства и потребления; экологическое нормирование; линейный объект связи; гигиеническое нормирование.

PATHS OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN CONSTRUCTION OF LINEAR TELECOMMUNICATION FACILITIES

Vedernikov I.

In this article are analyzed factors of solid waste negative impact on the environment in construction of underground linear-cable telecommunication facilities. Identified scheme the formation of the qualitative characteristics of human impact on the environment during the migration of harmful man-made contaminants from soil-ground waste. Proposed the criteria for the develop-