РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО

Тезисы докладов

(***Тамбов, 7–8 мая 2018 г.***)

Тамбов
Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2018

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО

Тезисы докладов

(*Тамбов*, *7–8 мая 2018 г.*)

Научное электронное издание

Тамбов
Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2018

УДК 621.396.6
ББК з844-02
Р15

Редакционная коллегия:

Д. Ю. Муромцев – *ответственный редактор*,
Н. Г. Чернышов – *зам. ответственного редактора*,
С. П. Москвитин, А. П. Пудовкин, С. В. Фролов, Т. И. Чернышова

Р15 **Радиоэлектроника.** Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] : тезисы докладов третьей всероссийской молодежной научной конференции / под ред. Д. Ю. Муромцева и др. ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 55,0 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-1921-9 (III)
ISBN 978-5-8265-1730-7 (II)
ISBN 978-5-8265-1557-0 (I)

Представлены тезисы докладов участников третьей всероссийской молодежной научной конференции «Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития», в которых раскрываются вопросы проектирования радиоэлектронных систем различного назначения на всех стадиях производства, генерации сигналов, приема и передачи различной информации по каналам связи, а также вопросы развития и применения радиоэлектроники в медицине и биомедицинской технике.

Материалы могут быть полезны студентам, молодым исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 621.396.6
ББК з844-02

Организаторы конференции и редакция ответственности за содержание предоставленных авторами материалов не несут.

ISBN 978-5-8265-1921-9 (III)
ISBN 978-5-8265-1556-3 (общ.)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2018

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЯ

В. И. Амелина, А. Д. Худякова, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет

Наряду с подсистемой первичной обработки информации, формирующей первичные измерения, навигационная аппаратура беспилотных автомобилей (транспортных средств – ТС), как правило, содержат подсистему вторичной обработки информации. Задача этой подсистемы – формирование вторичных измерений координат ТС. Вторичными измерениями являются результаты сглаживания и экстраполяции первичных измерений [1]. Вторичные измерения получаются в процессе обнаружения и сопровождении траекторий ТС с применением специальных алгоритмов обработки результатов первичных измерений. Результаты вторичных измерений имеют важное значение с точки зрения рассматриваемой в данной работе задачи. В частности, результаты экстраполяции траекторий ТС позволяют оценивать опасность столкновений защищаемых ТС (объектов $\text{ТС}^{(\text{защ})} = \text{ТС}^{(m)}$, m = 1, 2, …, M) с проверяемыми (с объектом $\text{ТС}^{(\text{пр})}$), которые могут иметь место в передней по отношению к ним (или к одному из них) полусфере [2]. Результаты сглаживания первичных измерений могут использоваться для оценки опасности столкновений, исходящей со стороны задней по отношению к защищаемым объектам полусферы или когда траектория объекта $\text{ТС}^{(\text{пр})}$ пересекается с траекторией защищаемого объекта в точке расположения последнего (рис. 1).

С учетом наличия результатов вторичных измерений вектор результатов наблюдения, имеет вид

$$\vec{N}_k = \left\| \vec{N}_{nck}^T \quad \vec{N}_{bck}^T \right\|^T - \tag{1}$$

полный вектор наблюдений, где вектор $\vec{N}_{nck}^T$, определяется в соответствии с (1) , а вектор $\vec{N}_{bck}^T$ имеет вид

$$\vec{N}_{bck} = \left\| \vec{N}_{bk}^{(\text{пр})T} \quad \vec{N}_{bk}^{(\text{защ})T} \right\|^T - \tag{2}$$

вектор результатов вторичных измерений, размерность которого определяется количеством точек траекторий, для которых выполнены операции экстраполяции или сглаживания [3].

Процедура расчета показателей уровней опасности столкновения автомобилей, реализуемая на каждом участке движения ТС, может быть представлена следующим образом:

– экстраполяция траекторий ТС. Результатом этапа является формирование экстраполированных траекторий объектов $ТС^{(m)}$, m = 1, 2, …, М и $ТС^{(пр)}$ в виде соответствующих массивов данных – координат точек этих траекторий с привязкой ко времени. Наряду с экстраполированными участками траекторий запоминаются также сглаженные участки этих траекторий;

– отыскание точек максимального сближения траекторий объектов $ТС^{(m)}$, m = 1, 2, …, М с траекторией объекта $ТС^{(пр)}$. Для каждой имеющейся точки экстраполированной (сглаженной) траектории одного объекта отыскивается ее расстояние до экстраполированной траектории другого объекта. Затем из найденных расстояний выбирается наименьшее;

– отыскание расстояний между объектами $ТС^{(m)}$ и $ТС^{(пр)}$, прогнозируемых на моменты времени [4].

Реализация перечисленных выше этапов по каждому из защищаемых объектов $ТС^{(m)}$, m = 1, 2, …, М позволяет получить всю необходимую информацию для решения задач ранжирования защищаемых объектов по уровню опасности их столкновения с объектом $ТС^{(пр)}$, для получения количественных оценок уровней опасности столкновения ТС, а также для вынесения решений о необходимости (или отсутствия необходимости) предупреждения защищаемых ТС об опасности их столкновения с объектом $ТС^{(пр)}$ [5].

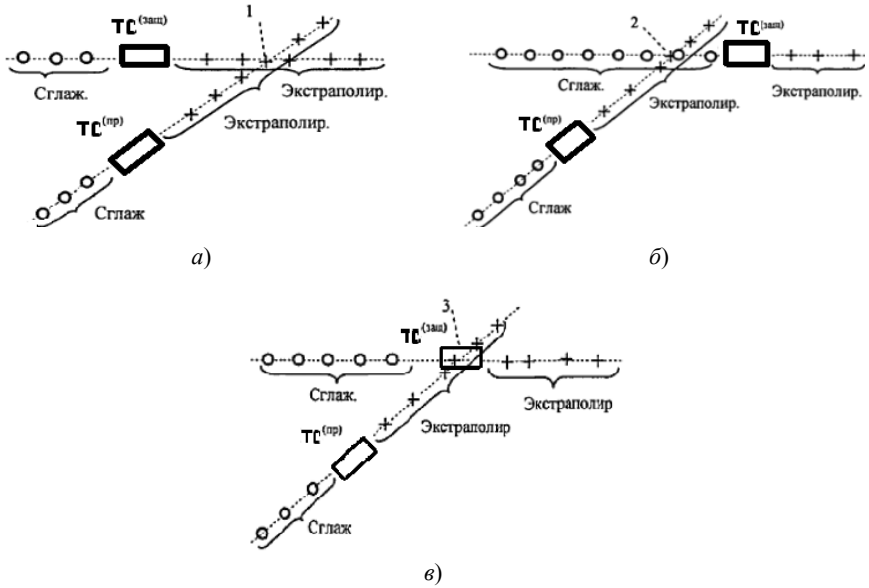


Рис. 1. Точка пересечения траекторий в передней полусфере (*а*) в задней полусфере (*б*) на защищаемом ТС (*в*)

Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Величко, Н. И.** Использование РЛС и САРП при прохождении судов / Н. И. Величко. – Керчь : Керченский государственный морской технологический университет. – 2009. – 157 с.
3. **Юдин, В. Н.** Процедура оценки опасности столкновения ЛА по данным радиолокационного наблюдения / В. Н. Юдин, Хоанг Хай Шон // 5 Междунар. конф. : тез. докл. «Авиация и космонавтика-2006». – М. : МАИ, 2006. – 71 с.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированной на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – 55 – 59 с.
5. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – 60 –63 с.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Р. Р. Козин, П. Г. Андреев, Т. Р. Нагаев, Н. К. Юрков, В. Я. Баннов

Пензенский государственный университет

Усовершенствование технологии беспроводной передачи электрической энергии на основе явления электромагнитной индукции является актуальной проблемой современности. Основными проблемами при решении данной задачи являются экономическая эффективность предлагаемых проектов, стоимость расходных материалов и соответствующей инфраструктуры для обеспечения транзита электроэнергии. Кроме этого возникают проблемы, связанные с потерями и изменением фазы в процессе передачи электроэнергии сверхвысокого напряжения на большие расстояния. Важным аспектом при решении поставленной задачи является учет климатические факторов, пагубно влияющих как на сам процесс, так и конструктив разрабатываемых изделий.

Наибольшее из известных бесконтактных способов передачи энергии распространение в электротехнике получили решения с использованием беспроводной передачи электроэнергии на основе явления электромагнитной индукции. Как известно [1, 4], область распространения электромагнитного поля от точечного излучателя разделяется на несколько участков в зависимости от расстояния от источника излучения. Существует ближняя зона излучения (зона индукции или реактивная зона), которая условно ограничивается расстоянием, равным $\lambda/2\pi$, где λ – длина волны. Зона индукции постепенно

переходит в зону излучения (волновую), и ярко выраженной границы между ними не существует. На границах ближней и дальней зон различают переходную промежуточную зону. Характер зависимости амплитуды и фазы электрической составляющей электромагнитного поля от расстояния до источника определяется принадлежностью рассматриваемой точки пространства к одной из трех зон [2, 3, 5]. При этом для оценки характеристик электромагнитного поля и соответствующего оборудования используется различный математический аппарат [2, 4]. Это же аспект оказывает значительное влияние на точность выполняемых расчетов, что в конечном итоге сказывается на КПД системы и является важнейшим фактором для устройств беспроводной передачи энергии. Так при зарядке современного смартфона от проводного адаптера напряжением порядка 5 В можно достичь КПД около 97%. В случае беспроводной зарядки такие показатели пока еще недостижимы и зависят от многих факторов, в том числе от расстояния между смартфоном и устройством зарядки. Увеличение этого расстояния непременно вызывает снижение КПД любой системы.

В заключение необходимо отметить, что зависимости от требований к входному напряжению и предполагаемой архитектуре разрабатываемой системы, определяющую роль для оптимизации возможных решений играет выбор базовой технологии беспроводной передачи электрической энергии, с учетом области распространения электромагнитного поля.

Библиографический список

1. **Андреев, П. Г.** Математическая модель распространения электромагнитных волн в помещении / П. Г. Андреев, А. Н. Якимов // Радиопромышленность: Научный рецензируемый журнал. – 2013. – № 2. – С. 74 – 82.

2. **Андреев, П. Г.** Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Н. К. Юрков, П. Г. Андреев, А. С. Жумабаева ; под ред. Н. К. Юркова // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2015. – Т. 1. – С. 201 – 203.

3. **Methods** of Calculating the Strength of Electric Component of Electromagnetic Field in Difficult Conditions / P. G. Andreev, N. K. Yurkov, I. I. Kochegarov et al. // сб. 2016 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2016 Conference Proceedings. – 2017. – С. 78 – 95.

4. **Андреев, П. Г.** Определение напряженности электрической составляющей электромагнитного поля с учетом отражений / П. Г. Андреев, А. К. Гришко, И. И. Кочегаров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 2(20). – С. 48 – 54.

5. **Андреев, П. Г.** Определение комплексного коэффициента отражения электромагнитных волн внутри помещений / П. Г. Андреев, И. Ю. Наумова, О. В. Москвитина ; под ред. Н. К. Юркова // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2013. – Т. 2. – С. 5–6.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОТИРИСТОРОВ В РАДИОТЕХНИКЕ

Е. А. Антонов, К. Д. Раев

Тамбовский государственный технический университет

Фототиристор – оптоэлектронный полупроводниковый прибор, имеющий структуру, схожую со структурой обычного тиристора, но отличающийся от последнего тем, что включается не напряжением, а светом, падающим на тиристорную структуру. В конструкции фототиристора в качестве вывода управления используется оптический ввод, к которому подключается оптический интерфейсный кабель [1]. В комплект с фототиристором входит лазерный диод (длина волны равна 0,88…1,05 мкм, мощностью до 300 мВт). Предназначение лазерного диода в конструкции – преобразование электросигнала от управляющего драйвера в световой импульс, повторяющий аналогичный электрический импульс. Фототиристор оборудован функцией защиты от пробоя, она интегрирована (встроена) в корпус устройства. Принцип ее работы состоит в том, что при осуществлении коммутационных действий, возникающих в связи с несанкционированными или критическими действиями, неконтролируемый процесс токового шунтирования в многослойной структуре устройства – прерывается, а тепловое разрушение, которое было бы неизбежным, предотвращается. Защита представляет собой область в кристалле, лавинный пробой в которой обладает пониженным напряжением. Ток, появившийся в этой структуре, непосредственно воздействует на управление тиристором и вызывает его полное отпирание [2]. После прекращения действия структура восстанавливается и происходит запирание тиристора. Основные функциональные преимущества фототиристоров: прямое управление световыми импульсами; группы приборов включаются с высокой точностью по времени; помехоустойчивость; управляющая схема и силовая цепь связана гальванической развязкой; высокий КПД; продолжительная устойчивость к неоднократным токовым перегрузкам; стойкость к электромагнитным помехам; оптимизация параметров к последовательному соединению фототиристоров в объединенных сборках.

Применение фототиристоров. Этот прибор применяется в управляемых светом выпрямителях и наиболее эффективен в управлении сильными токами при высоких напряжениях [3]. Так же фототиристоры входят в состав оптронов, которые используются как датчики во всевозможных детекторах наличия (например, детектор бумаги в принтере), датчиках конца (или начала), счетчиках и дискретных спидометрах на их базе (например, координатные счетчики в механической мыши, ареометры). Также оптроны используются для гальванической развязки электрических цепей – передачи сигнала без передачи напряжения, для бесконтактного управления и защиты. Мощные фототиристоры с прямым управлением светом способны составить эффективную конкуренцию прочим силовым полупроводниковым приборам. Они используются в конструкциях энергосберегающих преобразователей, предназначенных для функционирования в сетях электропередач постоянного тока.

Применяются в качестве ключей высокого напряжения импульсного назначения. Используются в компенсаторах реактивной мощности и в конструкции импульсной техники. Помимо этого, фототиристоры применяются в конструкции унифицированного модуля тиристорного ключа. Другое перспективное направление развитие использования фототиристоров – это конструкции твердотельных ключей [4]. Преобладающим направлением для них является применение импульсных фототиристоров. Они способны управлять сверхбольшими мощностями в сверхмалых временных диапазонах. Область применения подобных ключей довольно широка – это аппаратура, служащая для питания мощной лазерной техники. Они используются для построения схем, создающих сверхмощные электромагнитные поля.

Библиографический список

1. **Чернышова, Т. И.** Радиоматериалы и радиокомпоненты [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т. И. Чернышова, Н. А. Кольтюков. – Электрон. дан. (46,7 Мб). – Тамбов : ТГТУ, 2012. – 120 с.
2. **Селиванова, З. М.** Общая электротехника и электроника : учебное пособие / З. М. Селиванова. – Тамбов : ТГТУ, 2008. – 72 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
4. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

М. В. Бесперстов, Д. О. Никитенков, Н. А. Кольтюков

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время очень актуально применение гибридных систем на транспорте.

При разработке таких систем возникают проблемы, например отсутствие общепризнанных и аргументированных процедур выбора основных параметров электромеханических устройств для гибридной транспортной техники, выбор типа электродвигателя и алгоритмов управления ими.

После проведения анализа представленной информации можно сделать вывод, что для удачного применения алгоритмов оптимального энергосберегающего управления к гибридным объектам необходимо найти решение следующих задач:

– разработать модель динамики электропривода, пригодную для быстрого решения задач оптимального управления электроприводом, учитывая все возможные состояния функционирования;

– определить вероятные виды функций оптимального управления и условия их наличия.

Для многих практических случаев можно применить линеаризованное уравнение динамической механической характеристики асинхронного электродвигателя, что позволит записать уравнения динамики системы в удобной для анализа форме:

$$\left(1+\frac{1}{\omega_0 s_k}p\right)M=\frac{2M_k}{\omega_0 s_k}(\omega-\omega_1),$$

$$M-c_{12}(\varphi_1-\varphi_2)-M_{c1}=J_1 p\omega_1,$$

$$c_{12}(\varphi_1-\varphi_2)-M_{c2}=J_2 p\omega_2, \qquad (1)$$

где s_k – критическое скольжение; M_k – критический момент.

Для оперативного синтеза преимущественны передаточные функции:

– при управлением напряжением статора

$$W(p)=\frac{K_1(u_1)}{T_1(u_1)p+1},$$

$$K_1(u_1)=\frac{\omega_0}{u_1}-\frac{s_k\omega_0 M_{c1}}{2M_k u_1^3}, \qquad (2)$$

где $K_1(u_1)$ – коэффициент передачи двигателя;

$$T_1(u_1)=\frac{s_k\omega_0 J_1}{2M_k u_1^2},$$

где $T_1(u_1)$ – постоянная времени; u_1 – напряжение на обмотках статора;

$$W(p)=\frac{K_2(r_2)}{T_2(r_2)p+1},$$

$$K_2(r_2)=\frac{\omega_0}{r_2}-\frac{M_c}{M_k},$$

$$T_2(r_2)=\frac{Jr_2}{M_k}, \qquad (3)$$

где $K_2(r_2)$ – коэффициент передачи двигателя; $T_2(r_2)$ – постоянная времени; r_2 – сопротивления обмоток ротора.

Таким образом, для оптимального управления асинхронными электродвигателями получена модель, которая является пригодной для синтеза энергосберегающего управления.

Библиографический список

1. **Кольтюков, Н. А.** Оптимальное энергосберегающее управление смесительными машинами предприятий по производству и переработке полимерных материалов : дис. ... канд. техн. наук / Н. А. Кольтюков. – Тамбов : ТГТУ, 2002. – 174 с.
2. **Белоусов, О. А.** Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом / О. А. Белоусов, Н. А. Кольтюков, Ю. Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 5(65). – С. 27 – 29.
3. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм сопровождения с реконфигурацией модели / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 418 – 423.
5. **Данилов, С. Н.** Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 2-й Междунар. конф. с элементами научной школы. – Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 года. – С. 304–305.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ В SIMSCAPE ELECTRONICS

В. В. Бобров

Дальневосточный федеральный университет

Simscape Electronics предоставляет собой набор библиотек различных компонентов для моделирования электронных и мехатронных систем. Он включает в себя модели полупроводниковых приборов, двигателей, приводов и датчиков. Имеется возможность использовать эти компоненты для разработки электромеханических систем управления и построения поведенческих моделей для оценки архитектуры аналоговых схем.

Такие блоки как Band-Limited Op-Amp и Finite-GainOp-mp предназначены для моделирования операционных усилителей с неидеальными характеристиками. Данные блоки позволяют использовать реальные электрические и физические характеристики, указанные в технической документации на полупроводниковый прибор. Также эти блоки призваны заменить широко распространенные SPICE-модели, так как последние обеспечивают избыточно высокую точность моделирования. Таким образом, набор библиотек Simscape Electronics позволяет исследовать множество параметров в цепях с операционными усилителями, включая чувствительность к изменениям температуры, скорость нарастания и максимальную полосу пропускания.

На рисунке 1 представлен пример характеристик операционного усилителя LM7301 производства компании National Semiconductor.

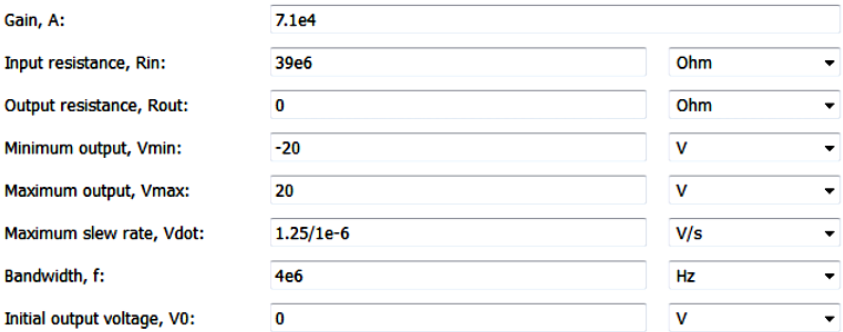


Рис. 1. Установка реальных параметров моделирования

Стоит обратить внимание на то, что данные параметры являются корректными для напряжений питания ± 5 В, однако в технической документации этот диапазон намного шире. Поэтому, более правильным подходом является установка значений напряжения питания ниже номинального, такой метод позволяет получить более приближенные к реальным условиям результаты моделирования.

Если все перечисленные выше параметры были установлены корректно, то выходное напряжение определяется следующим выражением:

$$V_{out} = A(V_p - V_m)\frac{1}{\frac{S}{2\pi f}+1} - I_{out}R_{out}, \quad (1)$$

где A – коэффициент усиления; R_{out} – выходное сопротивление; I_{out} – выходной ток; S – оператор Лапласа; f – полоса пропускания.

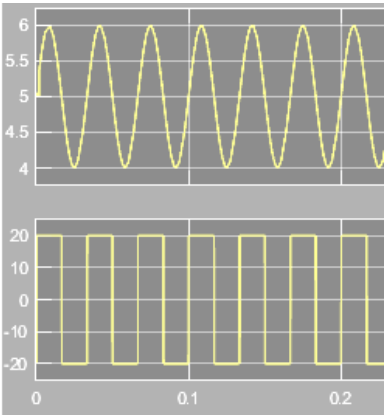


Рис. 2. Результат моделирования схемы компаратора

На рисунке 2 представлен пример моделирования компаратора на операционном усилителе.

Библиографический список

1. Matlab and Simulink for Engineers (Oxford Higher Education) / Agam Kumar, 2010. – 492.

Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента А. Ю. Родионова

ЕМКОСТНОЙ МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ПРИРАБОТАЧНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОГО ЛЕНТОЧНОГО МАТЕРИАЛА

А. А. Брюзгин, А. П. Пудовкин

Тамбовский государственный технический университет

В процессе производства многослойных ленточных материалов непрерывный контроль толщины слоев с помощью методов неразрушающего контроля является важной задачей.

В работе [1] приведено описание комплексного метода контроля, позволяющего в процессе производства металлофторопластового ленточного материала непрерывно измерять толщины слоев и пористость бронзового металлического каркаса. Для контроля толщины четвертого приработанного фторопластового слоя используется тепловой метод. С целью повышения точности контроля толщины этого слоя предлагается емкостной метод, сущность которого состоит в измерении емкости электрического двухобкладочного конденсатора с двухслойным диэлектриком за счет изменения измеряемых расстояний между его обкладками.

На рисунке 1 показана конструкция двухобкладочного измерительного конденсатора. В качестве нижней обкладки конденсатора используется движущийся биметалл *1* (сталь – медь – спеченная бронза) толщиной h, на поверхности которого нанесен приработачный фторопластовый слой *2* толщиной d_2. Со стороны приработачного слоя на фиксированном расстоянии d_1 расположена вторая обкладка *3* измерительного конденсатора.

Емкость конденсатора с двухслойным диэлектриком определяется как

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\dfrac{H - h - d_1}{\varepsilon_1} - \dfrac{d_2}{\varepsilon_2}}, \qquad (1)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная, Ф/м; S – площадь конденсатора, м; d_1 и d_2 – толщины соответственно воздушного и фторопластового слоя, м; ε_1 и ε_2 – диэлектрическая проницаемости соответственно воздуха и фторопласта, Ф/м.

Изменение толщины фторопластового слоя d_2 от номинального значения приведет к изменению емкости измерительного конденсатора. При этом толщина приработачного фторопластового слоя определяется как

$$d_2 = \frac{\varepsilon_2 (CH - \varepsilon_0 \varepsilon_1 S - Ch)}{C(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}. \qquad (2)$$

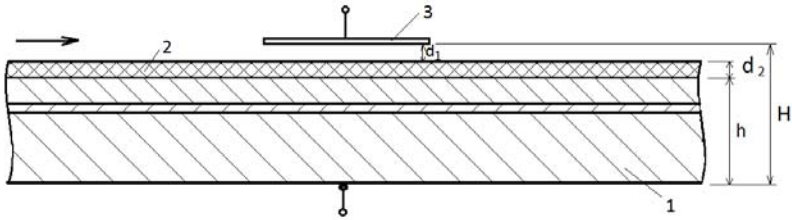


Рис. 1. Конструкция двухобкладочного конденсатора с двухслойным диэлектриком

Для повышения чувствительности измерения толщины приработачного слоя можно использовать мостовую или резонансную схемы [2]. Включение измерительного конденсатора в мостовую схему, питаемую от источника повышенной частоты, позволяет зафиксировать изменение емкости на 0,1%. При включении измерительного конденсатора в колебательный контур можно зафиксировать изменение емкости на 0,005%.

Библиографический список

1. **Пат.** Российская Федерация, МПК[7] G01B7/06. Способ непрерывного контроля толщины слоев четырехслойного металлофторопластового ленточного материала, пористости его металлического каркаса и концентрации входящих в четвертый слой компонент [Текст] / Банников А. Н., Пудовкин А. П., Чернышова Т. И. ; заяв. и патентообл. ГОУ ВПО «ТГТУ» Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». – № 2006117923/28 ; заявл. 24.05.2006 ; опубл. 20.12.2007.

2. **Келим, Ю. М.** Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики / Ю. М. Келим. – М. : Высшая школа, 2004. – 117 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАССИВНЫХ РАДИОМЕТОК С ЛЧМ МОДУЛЯЦИЕЙ

И. П. Бугримов, А. А. Герасименко

Дальневосточный Федеральный Университет

Пассивные радиометки нашли широкое применение в разных отраслях, как на производстве, так и в области торговли. Развитие пассивных переизлучателей с применением более сложных протоколов связи позволит еще больше расширить сферу их применения.

В системе пассивного переизлучения (рис. 1), радиометка принимает сигнал от питающей радиостанции, далее использует этот сигнал в качестве источника питания, необходимого для синтеза данных с встроенного датчика и формирования информационного пакета.

Рис. 1. Схема установки переизлучающего устройства

Также этот сигнал используется как сигнал гетеродина, который модулируется определенным образом и переизлучается обратно в канал связи. Критическими параметрами для пассивной радиометки являются низкая потребляемая мощность, а также бюджет переизлучаемого радиоканала. Наибольший бюджет радиоканала беспроводной связи обеспечивает технология на базе линейно частотной модуляции, и в частности технология LoRa. Она обеспечивает чувствительность на уровне в –149 дБм и поддерживает скорость передачи данных от 10 до 37,5 кбит/с, что является достаточным для большинства приложений сенсорных сетей и др. Кроме того, модуляция LoRa устойчива как к узкополосным, так и к широкополосным помехам. Поэтому основываясь на существующих радио архитектурах, была разработана первая конструкция пассивного переизлучения с модуляцией LoRa, потребляющая всего лишь 9.25 мкВт, что на три порядка ниже по сравнению с активными радиоустройствами LoRa. При этом пришлось реконструировать механизм пассивного переизлучения с целью формирования непрерывных линейно-частотно модулированных импульсов из монотонной несущей

Таким образом, формирование ЛЧМ импульсов из несущей может быть получено путем использования гибридной схемы цифрово-аналогового пассивного переизлучения (рис. 2): цифровой процессор полосы частот формирует линейный закон переключения несущей между частотами внутри доступного диапазона. ЦАП получает цифровое значение частоты и преобразует его в управляющий сигнал ГУН. Сигнал на выходе ГУН заставляет коммутатор, посредством дешифратора, подключать антенну к определенному сочетанию комплексных сопротивлений, которые переотражают сигнал с питающей радиостанции, попеременно через разные сопротивления, изменяя при этом фазу и частоту, формируя таким образом информационный сигнал.

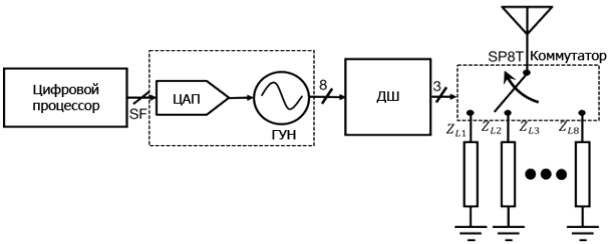


Рис. 2. Блок-схема прототипа формирования сигнала в пассивной радиометке

Полученный прототип был исследован в различных сценариях применения и доказал свою работоспособность в случае размещения метки между источником питающего сигнала и приемником, находящихся на расстоянии до 475 м [1].

Перспективы дальнейшего развития способов формирования ЛЧМ сигналов с помощью пассивного переизлучения позволят широко использовать печатные сенсорные устройства. Использование пассивных радиометок в качестве датчиков или элементов сенсорных сетей не потребует разработки аккумуляторных элементов, расширит возможности мониторинга объектов, удешевит масштабирование таких систем, по сравнению с использованием активных радиоустройств.

Библиографический список

1. **LoRa Backscatter:** EnablingThe Vision of Ubiquitous Connectivity [Журнал] / авт. Vamsi Talla Mehrdad Hessar. – Вашингтон : Association for Computing Machinery, Сентябрь 2017 г. – 3 : Т. 1.

Работа выполнена под руководством
кандидата географических наук, доцента А. Ф. Ломакина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРАЩЕНИЯ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ АЗИМУТА ВОЗДУШНОГО СУДНА

В. Н. Глистин

Тамбовский государственный технический университет

Современный этап развития науки, техники и авиационной инженерии характеризуется внедрением большого количества датчиков на воздушные суда (ВС) и увеличением числа автоматических систем, помогающих пилотам при управлении ВС [1]. Однако, несмотря на это, большинство из существующих алгоритмов обработки радиолокационной информации автоматизированными системами управления воздушным движением (АС УВД) имеют значительные неточности в моменты выполнения маневра воздушным судном. Вышесказанное утверждение относится и к угломерному каналу посадочной радиолокационной станции (ПРЛС). Это объясняется неточностью задания моделей состояния и наблюдения ВС.

Уменьшить ошибки оценки угловых координат воздушного судна возможно применяя модели состояния и наблюдения, основанные на кинематических и динамических сведениях о движении ВС. Получив данные от бортовых датчиков воздушного судна путем дискретно адресного запроса, появляются все необходимые сведения для описания динамики изменения угловых координат воздушного судна.

Для наглядного представления перемещения ВС при посадке относительно ПРЛС и взлетно-посадочной полосы приведен ниже рис. 1 [2].

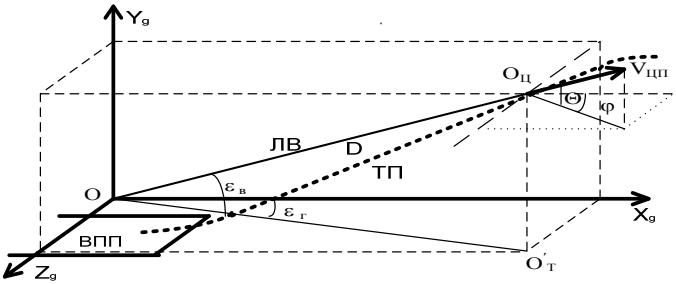


Рис. 1. Положение ВС в траекторной системе координат

На вышеприведенном рисунке в общем виде представлена нормальная система координат $OZ_gX_gY_g$, в которой антенны посадочного радиолокатора расположена в точке O [4].

В итоге основываясь на рис. 1, таблицах направляющих косинусов [3], скоростной, траекторной, нормальной системах координат, а так же методике перехода от одной системы координат к другой изменения азимута ВС [4 – 6]

$$\begin{aligned}\varpi_{\text{г}} = \operatorname{arctg}(((g((\sin(\varphi)\sin(\theta) - \cos(\varphi)\sin(\theta))(n_{Ya}\cos(\gamma_a) - \\ - n_{Za}\sin(\gamma_a)) + n_{Xa}\cos(\theta)(\cos(\varphi) - \sin(\varphi)) + \\ + (\sin(\varphi) + \cos(\varphi))(n_{Ya}\sin(\gamma_a) + n_{Za}\cos(\gamma_a))))^2 - \\ - ((a_{\text{лв}}\cos(\varepsilon_{\text{в}}))^2)^{1/2})\big/(D\cos\varepsilon_{\text{в}}),\end{aligned} \quad (1)$$

где D – дальность до воздушного судна по линии визирования; g – ускорение свободного падения; $a_{\text{лв}}$ – ускорение воздушного судна по линии визирования, определяемое в дальномерном канале РЛС; n_{Xa} – продольная перегрузка ВС; n_{Ya} – нормальная перегрузка ВС; n_{Za} – боковая перегрузка ВС; θ – угол наклона траектории ВС; φ – угол поворота траектории ВС; $\varepsilon_{\text{в}}$ – угол места; γ_a – скоростной угол крена.

Таким образом, получено выражение в полном объеме описывающее приращение скорости изменения азимута ВС. Исходя из этого, можно сделать вывод, что применив вышеописанное выражение при составлении модели состояния и наблюдения ВС, получим модель состояния фильтра оценки угловых координат ВС, точно описывающих их изменение.

Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.

3. **Использование** динамических характеристик воздушного судна в информационно-измерительных системах / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, И. В. Князев, В. Н. Глистин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – С. 381 – 386.

4. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.

6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

Статья написана под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ВЫРЕЗА В МИКРОПОЛОСКОВОЙ ПАТЧ-АНТЕННЕ НА ЕЕ ПАРАМЕТРЫ

А. С. Даккурян

Дальневосточный федеральный университет, Россия, о. Русский

Микрополосковые патч-антенны широко используются благодаря своей компактности, легкости и экономической эффективности. Входной импеданс этих антенн зависит от их геометрической формы, размера, физических свойств материалов, типов и местоположения подведения питания. Следовательно, изменением геометрии антенны можно добиться лучших резонансных параметров.

В работе анализируется зависимость резонансной частоты патча от ширины выреза в микрополосковой антенне.

По формулам, приведенным в [1], рассчитаны размеры исследуемой микрополосковой патч-антенны (рис. 1) для резонансной частоты $f_{рез}$ = 902,5 МГц. Подложкой антенны служит материал RF4 с величиной диэлектрической проницаемости ε = 4,4, толщина подложки h = 5 мм, ширина патча W_p = 101,15 мм, длина патча L_p = 78,01 мм, толщина линии питания W = 8 мм, глубина выреза d = 25,9 мм.

Расчеты параметров $f_{рез}$, обратные потери (S_{11}) проводились в программе ANSYS Electronics [2] и приведены в табл. 1. По результатам расчетов построен график зависимости резонансной частоты от выреза g в антенне (рис. 2).

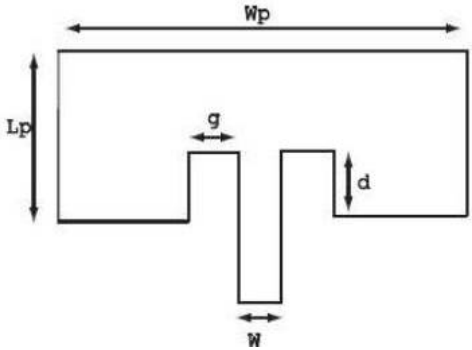


Рис. 1. Геометрия микрополосковой антенны

1. Результаты расчетов в программе ANSYS Electronics

G	$f_{рез}$	S_{11}(db) на $f_{рез}$	Δf на –10 db	G	$f_{рез}$	S_{11}(db) на $f_{рез}$	Δf на –10 db
0,5	928	–34,17	20,22	2,3	899,33	–25,99	22,66
0,6	927,11	–41,76	20,67	2,4	901,33	–27,18	22,66
0,7	919,78	–42,28	20,89	2,5	903,11	–24,46	22,89
0,8	918,22	–38,69	20,66	2,6	903,55	–25,9	22,89
0,9	916	–48,85	21,11	2,7	898,67	–24,24	22,89
1	837	–22,38	20,67	2,8	899,33	–24,32	23,11
1,1	915,11	–31,13	22	2,9	899,11	–24,93	22,89
1,2	831,33	–13,4	18,66	3	816,66	–5,39	–
1,3	909,33	–31,13	22	3,1	818	–31,36	18,22
1,4	908,89	–32,82	21,78	3,2	814,88	–5	–
1,5	905,11	–28,13	22,22	3,3	822,89	–29,8	18,22
1,6	908,66	–29,42	22,22	3,4	896,78	–24,03	23,11
1,7	906	–26,17	22,67	3,5	896,66	–24,99	23,11
1,8	906,77	–30,96	22,23	3,6	895,78	–24,3	23,11
1,9	904,22	–28,74	22,22	3,7	895,78	–23,21	23,11
2	904,66	–27,43	22,67	3,8	896	–23,31	23,33
2,1	902,67	–27,23	22,45	3,9	895,78	–22,4	23,33
2,2	902,44	–25,04	22,89	4	897,55	–22,72	23,33

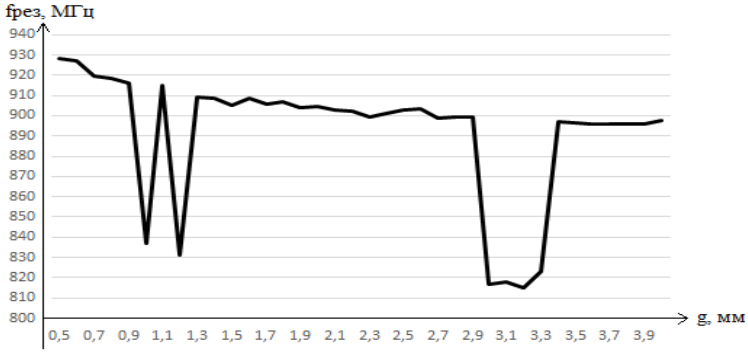


Рис. 2. Полученная зависимость резонансной частоты от ширины выреза g

Анализируя полученные результаты, можно заключить, что при небольших значениях ширины выреза (g < 1) параметры антенны лучше (S_{11} мало), однако происходит значительное смещение резонансной частоты, что необходимо учитывать при проектировании. Учитывая смещение резонансной частоты, можно добиться увеличения коэффициента усиления антенны. Так же стоит обратить внимание на резкие скачки резонансной частоты при g = 1 мм, g = 1,2 мм, g = 3…3,4 мм.

Библиографический список

1. **Matin, M. A.** A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip / M. A. Matin, A. I. Sayeed // Patch Antenna: WSEAS Transactions on Communications. – Jan. 2010. – V. 9. – P. 64 – 72.

2. **Банков, С. Е.** Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft / С. Е. Банков, А. А. Курушин. – М. : ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. – 256 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА СО СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРИ ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

М. С. Демидов, И. В. Шарапов, И. В. Мещеряков

Тамбовский государственный технический университет

Модель состояния и наблюдения угломерного канала в вертикальной плоскости для двух фильтров в дискретном виде [1 – 3]:

$$\left.\begin{aligned} &\varepsilon_{в1}(k) = \varepsilon_{в1}(k-1) + \omega_1(k-1)T + 0{,}5\beta_1(k-1)T^2; \\ &\omega_1(k) = \omega_1(k-1) + \beta_1(k-1)T; \\ &\beta_1(k) = (1-\alpha_{ф1}T)\beta_1(k-1) + \xi_a(k-1); \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_{в2}(k) &= \varepsilon_{в2}(k-1) + \omega_2(k-1)T;\\ \omega_2(k) &= (1-\alpha_{ф1}T)\omega_2(k-1) + \xi_\omega(k-1);\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{ви}(k) = \varepsilon_в(k) + \xi_и(k); \quad (3)$$

$$\varepsilon_в(k) = \sum_{m=1}^{2} W_m(k-1)\varepsilon_{вm}(k-1),\ m = 1, 2;\ k = 1, 2..., \quad (4)$$

где $\varepsilon_в$, ω, β – угол места, скорость и ускорение изменения угла места; $\varepsilon_{ви}$ – измеренное значение угла места; W_m – весовые коэффициенты оценки фильтрации.

Получена зависимость угла места от времени при маневре воздушным судном «большая коробочка» (рис. 1).

На основании алгоритмов [2, 4 – 6] было проведено имитационное моделирование: *1* – в угломерном канале использовалась модель состояния (1); *2* – в угломерном канале использовалась модель состояния (2); *3* – в угломерном канале использовалась модель состояния (1), (2), (4). Результаты моделирования (зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) угла от времени) представлены на рис. 2.

Таким образом, использование двух фильтров со случайной структурой угломерного канала позволяет повысить точность траекторной обработки информации воздушных судов на всех этапах маневра «большая коробочка».

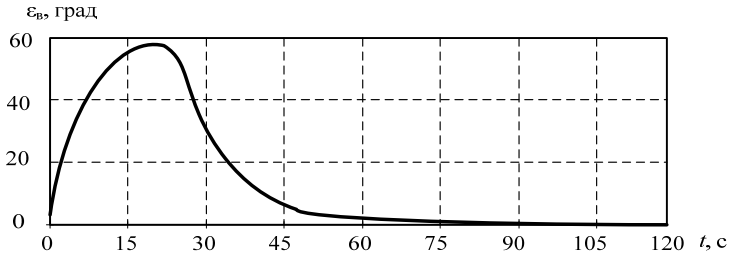


Рис. 1. Изменение угла места

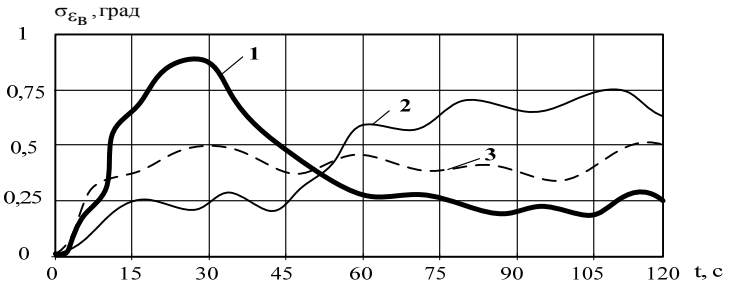


Рис. 2. Зависимости среднеквадратического отклонения угла места от времени

Библиографический список

1. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.
6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И КОНТРОЛЯ ВОЗДУШОГО ПРОСТРАНСТВА

Д. С. Дмитриев, О. О. Самсонов

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева

Стремительное развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и повсеместное их внедрение приводит к необходимости контроля воздушного пространства на малых и сверхмалых высотах. Последние события показывают, что наибольшую опасность они представляют в условиях городской зашумленной среды, где совершение террористических актов наиболее вероятно. Применение традиционных радиолокационных станций (РЛС) малоэффективно и порой бесполезно.

Перед разрабатываемой системой стоят следующие задачи:

– поиск и обнаружение любых типов летательных аппаратов на высотах до 1 км;

– работа в условиях зашумленной среды при наличии индустриальных помех;

– размещение в плотной городской застройке среди строений различной этажности;

– определение грубых и точных координат цели в режиме «слежение»;

– определение степени опасности цели.

Ввиду того, что система рассчитана в первую очередь на обнаружение малоразмерных целей, накладываются некоторые ограничения [1]:

1) длина волны РЛС должна быть соизмерима с габаритными размерами цели;

2) малая эффективная площадь отражения (ЭПО) летательных аппаратов;

3) композитные материалы приводят к значительному снижению коэффициента отражения.

Очевидно, что строительство большого количества облучающих станций при плотной застройке экономически нецелесообразно, поэтому было принято решение использовать в качестве РЛС «подсвета» базовые станции сотовой связи [2]. При этом решается проблема точного определения местоположения летательного аппарата. Однако, малая мощность излучаемых сигналов и сильная зашумленность приводит к необходимости использования достаточно сложной системы согласованной фильтрации. Заметим, что в настоящее время в сетях подвижной связи широко внедряется система с кодовым разделением каналов, при этом полоса пропускания может составлять 5 МГц и более.

В основе системы обнаружения лежит эффект Доплера: при облучении вращающихся частей (несущих винтов) возникает сдвиг частоты, который и фиксируется приемной станцией. Видно, что малая ЭПО незначительно влияет на результаты измерений. В тоже время возникают трудности при обработке таких сигналов – нелинейные искажения принятых сигналов.

Предполагается, что опасность обнаруженной цели будет определяться по массе, скорости, габаритам цели и другим параметрам [3]. Алгоритмы принятия решения в настоящее время прорабатываются, определяются признаки, которые позволят однозначно определять характеристики целей.

Библиографический список

1. **Широков, Ю. Ф.** Основы теории радиолокационных систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. Ф. Широков ; Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Самара, 2012. – URL : http://ssau.ru/files/education/uch_posob/Основы%20теории-Широков%20ЮФ.pdf (дата обращения : 19.04.2018).

2. **Дециметровый** РЛК «Рубеж» – информационная основа для РТВ, РЭБ и ПВО от массированных ударов СКР // «Военное обозрение». – URL : https://topwar.ru/100497-decimetrovyy-rlk-rubezh-informacionnaya-osnova-dlya-rtv-reb-i-pvo-ot-massirovannyh-udarov-skr.html (дата обращения : 19.04.2018).

3. **Николаев, А. И.** Радиолокационые системы : учебное пособие / А. И. Николаев. – М. : Изд-во МГТУ, 2016. – 351 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДНИХ ВОЛН В РАДИОТЕХНИКЕ

В. В. Терехов, Д. О. Жалнин

Тамбовский государственный технический университет

К средним волнам относятся радиоволны длиной от 100 до 1000 м (частоты 3…0,3 МГц). Они могут распространяться как земные и как ионосферные волны. Напряженность электрического поля земных волн определяют для малых расстояний по формуле Шулейкина–Ван-дер-Поля, а для больших расстояний – по законам дифракции. Средние волны испытывают значительное поглощение в полупроводящей поверхности Земли, дальность распространения земной волны ограничена расстоянием 500…700 км. На большие расстояния радиоволны распространяются ионосферной волной. Рассмотрим основные особенности ионосферного распространения средних волн.

В ночное время средние волны распространяются путем отражения от слоя ионосферы, электронная плотность которого оказывается достаточной для этого. В дневное время на пути распространения волны расположен слой, чрезвычайно сильно поглощающий средние волны. Поэтому при обычных мощностях передатчиков напряженность электрического поля недостаточна для приема, и в дневные часы распространение средних волн происходит практически только земной волной на сравнительно небольшие расстояния (порядка 1000 км).

В диапазоне средних волн более длинные волны испытывают меньшее поглощение, и напряженность электрического поля ионосферной волны больше на более длинных волнах. Поглощение увеличивается в летние месяцы и уменьшается в зимние месяцы. Ионосферные возмущения не влияют на распространение средних волн, так как слой мало нарушается во время ионосферно-магнитных бурь.

Замирания средних волн. В ночное время на некотором расстоянии от передатчика возможен приход одновременно пространственной и поверхностной волн, причем длина пути пространственной волны меняется с изменением электронной плотности ионосферы. Изменение разности фаз этих волн приводит к колебанию напряженности электрического поля, называемому ближним замиранием поля. На значительное расстояние от передатчика могут прийти волны путем одного и двух отражений от ионосферы. Изменение разности фаз этих двух волн также приводит к колебанию напряженности электрического поля, называемому дальним замиранием поля. Для борьбы

с замираниями на передающем конце линии связи применяются антенны, у которых максимум диаграммы направленности «прижат» к земной поверхности. При такой диаграмме направленности зона ближних замираний удаляется от передатчика, а на больших расстояниях поле волны, пришедшей путем двух отражений, оказывается ослабленным.

Таким образом, средние волны нашли массовое применение в радио- и телевещании. А так же используются в морской связи, радионавигационных системах и радиопеленгации.

Библиографический список

1. **Электромагнитные** волны, используемые в радиотехнике (Электронный ресурс). – URL : http://easyradio.ru/stati/teoriya/elektromagnitnie_volni_ispolzuemie_v_radiotehnike.html.
2. **Пудовкин, А. П.** Распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Электромагнитные поля: учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин ; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 96 с.
4. **Пудовкин, А. П.** Основы теории антенн : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЧЕТАНИЯ ДВУХ НЕГАТИВНЫХ, НЕГАТИВНО-КОНТУРНОЙ И ВЕРШИННОЙ СТРУКТУР ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО-РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Н. Г. Жумашев[1], А. В. Григорьев[2], А. Ю. Подсякина[2], Н. Е. Персанов[2], С. А. Бростилов[2]

[1]Казахстан, г. Актобе, Военный институт Сил воздушной обороны Республики Казахстан им. Т. Я. Бегельдинова
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет»

Технология векторного измерения вибрационных перемещений, в основу которой положен анализ размытия изображения круглой метки, является весьма перспективной и динамично развивающейся. Различные варианты этой технологии имеют свою специфику.

Развиваемые в настоящее время варианты этой технологии [1 – 4] являются шагом вперед в направлении повышения универсальности и функциональных возможностей метода. Технологии, известные до изложенных в [1 – 4], позволяют измерять ограниченное количество видов следов и, как следствие, ограниченное количество траекторий вибрационного перемещения. Предложенные в этих публикациях технологии расширяют функцио-

нальные возможности метода за счет обработки следов вибрационного размытия изображения круглой метки, обладающих свойством центральной асимметрии.

Дальнейшее развитие технологии предполагает переход от бинаризации полутонового изображения круглой метки к его сегментации с последующей обработкой полученных сегментов. Один из возможных вариантов такой сегментации называется структурно-разностным. Его сущность изложена в статье [5].

Представляет интерес следующая ситуация (табл. 1).

1. Структурно-разностное описание пикселя

c	$p_{i,j,c}$	$p_{i,j,c+4}$	Пара направлений
1	1	1	Негативная
2	1	1	Негативная
3	0	1	Негативно-контурная
4	2	2	Вершинная

Наивысшим приоритетом в данной структурной последовательности обладает негативно-контурная пара направлений. Таким образом, данный элемент следует отнести к негативно-контурным.

Графически это описание интерпретируется следующим образом (рис. 1).

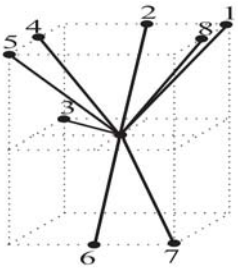


Рис. 1. Графическая интерпретация структурно-разностного описания элемента

Библиографический список

1. **Method** of measuring vibration movements of material points on the surface of the controlled object. 2015 Proceedings of 2017 20th IEEE International / A. V. Grigoriev, E. A. Danilova, N. K. Yurkov // Conference on Soft Computing and Measurements, SCM. – 2017. – V. 2. – P. 203 – 207.

2. **Структурное** описание размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Г. Ж. Надырбеков, А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров и др. // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2017. – Т. 2. – С. 11 – 13.

3. **Анализ** размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Д. Х. Нуржанов, А. В. Григорьев, В. А. Трусов и др. // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2017. – Т. 2. – С. 14 – 16.

4. **Гришко, А. К.** Синтез оптимальной структуры сети распределенных систем разнотипных радиоэлектронных средств / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, М. К. Танатов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – Т. 1. – С. 299 – 301.

5. **Принцип** негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / А. В. Григорьев, А. Л. Держевецкий, В. Я. Баннов и др. // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 2. – С. 21 – 24.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТРОПНОСТИ ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ОЛОВА

Т. О. Зинченко, К. О. Николаев

Пензенский государственный университет

К прозрачным проводящим покрытиям (ППП) относят тонкопленочные, которые обладают высокой электропроводностью и хорошей оптической прозрачностью. Наибольшее применение получили ППП на основе металлооксидов (In_2O_3, ZnO, SnO_2) [1].

ППП используются при производстве различных оптоэлектронных приборов и устройств: органических светодиодов, жидкокристаллических дисплеев, сенсорных экранов [2 – 4]. Оптические и электрические свойства ППП зависят от технологии получения. ППП на основе металлооксидов могут получать такими методами, как термическое вакуумное осаждение, химическое парофазное осаждение, магнетронное распыление, золь-гель, спрей-пиролиз и т.д. Последний метод является наиболее перспективным за счет простоты, низкой стоимости, возможности варьирования свойствами ППП путем изменения режимов их нанесения [5].

Данная работа заключалась в нанесении на стеклянные подложки покрытий из диоксида олова, легированного сурьмой, методом спрей-пиролиза. Экспериментальная установка, которая была разработана для реализации данного метода, подробно представлена в работе [6]. Нанесение покрытий осуществлялось из раствора, содержащего тетрахлорид пентагидрат олова ($SnCl_4 \cdot 5H_2O$) и растворитель, в роли которого выступал этанол (C_2H_5OH). Температура осаждения составляла 450 °C. Для того чтобы провести легирование в раствор добавлялся прекурсор примеси – трихлорид сурьмы ($SbCl_3$). Вольт-амперные характеристики были измерены с помощью метода Ван-дер-Пау,

для анализа имеющих место инструментальных и методических погрешностей которого проведен функциональный и метрологический анализ [7].

Анализ вольт-амперных характеристик (ВАХ) позволяет сделать вывод, что пленки изотропны, т.е. во всех направлениях имеют одинаковые физические свойства. Это подтверждается линейным характером зависимостей до перехода в насыщение, кроме того, ветви ВАХ (для каждого направления) всех исследуемых образцов располагаются близко друг к другу с учетом допускаемых погрешностей.

Библиографический список

1. **Кондрашин, В. И.** Исследование влияния концентрации примеси на поверхностное сопротивление в ППП (полученных методом спрей-пиролиза) на основе диоксида олова / В. И. Кондрашин, Е. А. Печерская // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : матер. 19-й Всерос. молодежной научной школы-семинара. – 2016. – С. 175–176.
2. **Transparent** Conducting Oxides for Electrode Applications in Light Emitting and Absorbing Devices / H. Liu, V. Avrutin, N. Izyumskaya, Ü. Özgür // Superlattices Microstruct. – 2010. – V. 48. – N 5. – P. 458 – 484.
3. **Функциональные** материалы для сенсибилизированных красителем солнечных элементов / С. В. Ракша, В. И. Кондрашин, Е. А. Печерская, К. О. Николаев // Физика и технология наноматериалов и структур : сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х т. – ЮЗГУ. – 2015. – С. 143 – 146.
4. **Electrical** Properties of Transparent Conductive Ato Coatings Obtained by Spray Pyrolysis / T. O. Zinchenko, V. I. Kondrashin, E. A. Pecherskaya et al. // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering 1. Сер. “International Conference on Materials, Alloys and Experimental Mechanics, ICMAEM 2017”. – 2017. – P. 012255.
5. **Зинченко, Т. О.** Автоматизация технологических режимов установки для нанесения тонкопленочных функциональных покрытий методом спрей-пиролиза / Т. О. Зинченко, Е. А. Печерская // Проблемы автоматизации и управления в технических системах : сб. ст. XXXII Междунар. науч.-техн. конф. – 2017. – С. 113 – 116.
6. **Зинченко, Т. О.** Разработка микропроцессорной системы управления установкой для нанесения тонкопленочных покрытий методом спрей-пиролиза / Т. О. Зинченко, Е. А. Печерская // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. IV ежегодной межвуз. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 288 – 290.
7. **Печерская, Е. А.** Применение методологии функционального и метрологического анализа к качеству исследования материалов микро- и наноэлектроники / Е. А. Печерская // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2007. – Т. 7, № 2. – С. 94 – 98.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ОЛОВА ЛЕГИРОВАННОГО СУРЬМОЙ

Т. О. Зинченко, Е. А. Печерская, К. О. Николаев

Пензенский государственный университет

К прозрачным проводящим покрытиям (ППП) относят тонкие пленки, которые обладают высокой электропроводностью и хорошей оптической прозрачностью [1]. Хотя исследования по изучению ППП проводят в течение многих лет, механизмы рассеяния, влияющие на их электрические свойства, не достаточно изучены. Электрическое сопротивление обусловлено рассеянием электронов при взаимодействии с решеткой [2]. Из-за своей волновой природы электроны могут проходить сквозь совершенную решетку без затухания, поэтому удельное сопротивление является мерой совершенства структуры кристаллической решетки.

В реальности, по ряду причин совершенной структуры не бывает, поэтому электроны подвергаются рассеянию, среднее расстояние, которое электроны проходят между соударениями, называется средним свободным пробегом. Даже если решетка не имеет структурных дефектов, но вследствие тепловых колебаний атомов около своих средних положений решетка не будет совершенной для дрейфа электронов. Электроны будут взаимодействовать с различными видами колебаний решетки (фононами), что и будет определять электрическое сопротивление [3]. Исходя из теоретических источников, в ППП рассеяние на ионизированных примесях является основным механизмом, ограничивающим подвижность носителей [4]. Для определения влияния механизма рассеяния на ионизированных примесях, проведено исследование зависимости поверхностного сопротивления от концентрации примеси (рис. 1).

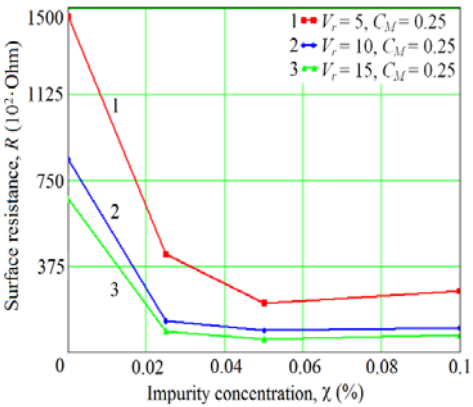


Рис. 1. Зависимость поверхностного сопротивления от концентрации примеси

До концентрации примеси, составляющей 5% от объема раствора наблюдается следующее: поверхностное сопротивление последовательно уменьшается с увеличением объема раствора, концентрации прекурсора и концентрации примеси. При достижении концентрации примеси 5% и при дальнейшем росте концентрации, происходит некоторое увеличение поверхностного сопротивления. Это связано с тем, что при достижении определенного значения концентрации, свободные носители заряда начинают мешать друг другу, примесные атомы встраиваются в кристаллическую решетку не на правильные позиции, что приводит к образованию дефектов. В результате появляется рассеяние на дефектах, увеличивается рассеяние на примесных атомах.

Библиографический список

1. **Методики** получения и исследование функциональных слоев солнечных элементов / А. А. Шамин, К. О. Николаев, Е. А. Печерская, А. Н. Купцов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 2(22). – С. 279 – 286.
2. **Electrical** Properties of Transparent Conductive Ato Coatings Obtained by Spray Pyrolysis / T. O. Zinchenko, V. I. Kondrashin, E. A. Pecherskaya et al. // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – ICMAEM 2017. – 2017. – P. 012255.
3. **Transparent** Conducting Oxides for Electrode Applications in Light Emitting and Absorbing Devices / H. Liu, V. Avrutin, N. Izyumskaya, Ü. Özgür // Superlattices Microstruct. – 2010. – V. 48. – N 5. – P. 458 – 484.
4. **Кондрашин, В. И.** Исследование влияния концентрации примеси на поверхностное сопротивление в ППП (полученных методом спрей-пиролиза) на основе диоксида олова / В. И. Кондрашин, Е. А. Печерская // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : матер. 19-й Всерос. молодежной науч. школы-семинара. – 2016. – С. 175–176.

СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO

В. Ю. Ильин, В. И. Мочалов

Арзамасский политехнический институт

Солнечные электростанции все увереннее входят в повседневную жизнь современного человека. Смысл солнечного трекера заключается в повышении КПД солнечных панелей.

Солнечный трекер – это устройство, позволяющее следить за движением солнца по небосводу, и перемещать солнечную панель в положение, в котором поглощение солнечных лучей происходит наиболее эффективно.

Достоинства трекера можно описать следующим образом:

– КПД солнечных панелей возрастает на 40…45%. Увеличение достигается за счет того, что наиболее эффективная работа панелей происходит, когда солнечные лучи падают под углом 90° на фотоэлементы панели;

– за счет установки трекера КПД солнечных панелей значительно повышается, количество вырабатываемой электрической энергии увеличивается;

– в связи с увеличением производительности отдельно взятой панели, отпадает необходимость в установке дополнительных панелей, что в свою очередь, снижает стоимость всего комплекта солнечной электростанции.

По своей сути, солнечный трекер – это система, которая следит за местоположением солнца. Для выполнения этой задачи от трекера требуется:

– определить месторасположение солнца, относительно солнечной панели;

– выполнить перемещение солнечной панели, в положение, в котором поглощение солнечных лучей будет максимальным.

Достоинства же нашей разработки, в отличие от аналогов, заключается в дешевизне материалов и использовании простых фотодатчиков.

Механическая часть состоит из 2 осей вращения. Система приводится в движение с помощью 2 сервоприводов.

За управление отвечает аппаратная плафторма Arduino Uno, контроллер которой построен на ATmega328.

Программа, которая отвечает за управление системы, подразумевает 2 режима работы:

1. Режим ожидания. Это режим энергосбережения, в который система входит после выполнения инструкций, указанных в режиме 2.

2. Режим поворота панели. В котором система ищет источник света (в данном случае Солнце).

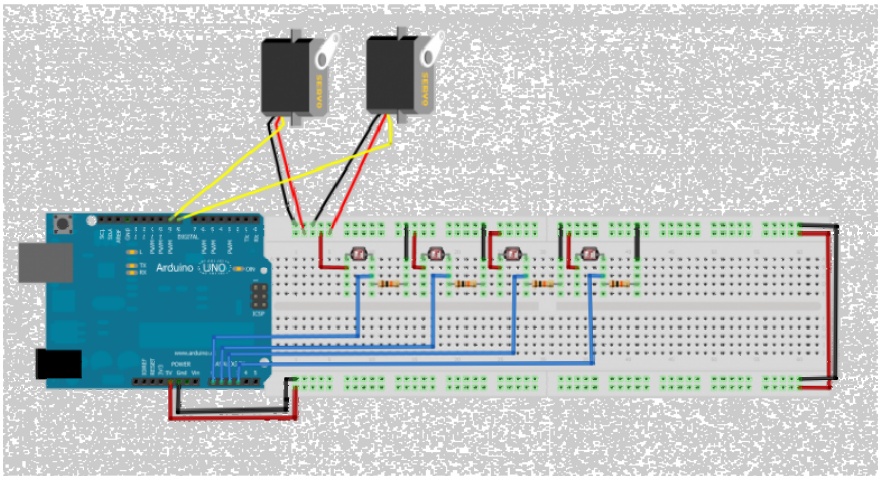


Рис. 1. Электрическая схема макета системы

После завершения работы системы в режиме № 2, управляющая платформа погружается в режим ожидания и «проснется» только по истечению таймера. В конце светового дня, когда система не обнаружит свет в течение определенного времени, все устройство переключается в режим глубокого сна, в котором будет находиться до рассвета.

Вывод: данная система явно повышает КПД солнечных панелей и имеет преимущество перед аналогами в виде дешевизны комплектующих (управляющей части).

ДИАГРАММА АКТИВНОСТИ ДОСТУПА К БАЗЕ ДАННЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

И. В. Калистратова, В. А. Мокрозуб, А. В. Попов

Тамбовский государственный технический университет

База элементов радиотехнических систем является обязательной частью любой системы автоматизированного проектирования [1, 2]. Ниже описана диаграмма активности (формат UML) доступа к базе данных типовых элементов радиотехнических систем в сети Internet (рис. 1) .

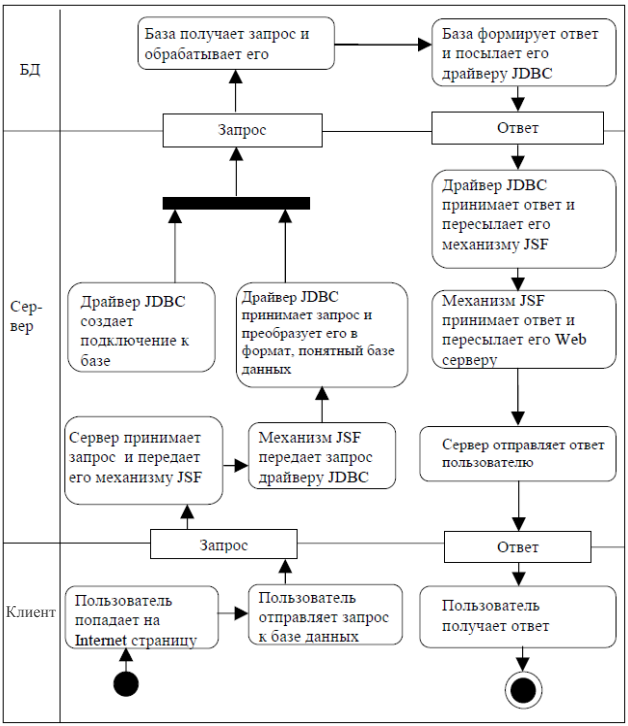


Рис. 1. Диаграмма активности доступа к базе данных радиотехнических элементов

На диаграмме представлены три «плавательные дорожки»:

– БД (система управления базой данных);
– сервер, на котором находится база данных;
– клиент.

Функции клиента: направление запроса к базе данных и получение ответа.

Функции базы данных: получение и обработка запроса, формирование ответа и отправка ответа на сервер.

Функции сервера: обеспечивает подключение к базе данных и перенаправляет запрос клиента к ней, получает ответ от базы данных и направляет ответ клиенту. Эти функции выполняются следующим образом:

– запроса клиента принимается и перенаправляется механизму JSF;
– механизм JSF передает запрос клиента механизму JDBC;
– механизм JDBC обеспечивает подключения к базе данных и преобразование запроса в формат, понятный базе данных;
– отправка запроса базе данных и получение от нее результата запроса;
– направление результата запроса механизмом JDBC механизму JSF;
– пересылка результатов запроса механизмом JSF серверу;
– отправка сервером результатов запроса клиенту.

Библиографический список

1. **Мокрозуб, В. Г.** База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, С. В. Морозов, А. Н. Коновалова // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 29 – 32.

2. **Немтинов, В. А.** Автоматизированный выбор элемента радиотехнической системы / В. А. Немтинов, С. Я. Егоров, В. Г. Мокрозуб // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – № 11. – С. 42 – 46.

ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАНЕСЕНИЯ ПЕРОВСКИТОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК

А. В. Мартынов, П. Е. Голубков, А. В. Печерский, Ф. А. Абдуллин

Пензенский государственный университет

Перовскитовым солнечным элементам присущи несколько параметров, которые характеризуют их эффективность и возможность использования в фотоэнергетике наравне с фотоэлементами, полученными другими технологиями. К основным таким параметрам относятся плотность фототока (j_{sc}), напряжение холостого хода (V_{oc}), коэффициент заполнения (*FF*), эффективность преобразования энергии (PCE) [1]. Эффективность преобразования энергии (PCE) определяется с помощью следующего выражения: $\mathrm{PCE} = j_{sc}V_{oc}FF$. Максимальное напряжение холостого хода полупроводникового поглотителя приблизительно равно ширине его запрещенной зоны (E_g),

а отношение V_{oc} / E_g указывает на эффективность полупроводникового материала в качестве поглотителя солнечного излучения. В соответствии с этим, максимальный теоретический предел коэффициента преобразования энергии (PCE), рассчитанный для перовскитовых солнечных элементов, использующих органо-галогенидные соединения свинца ($CH_3NH_3PbCl_3$) равен 31,4% [2]. Это указывает на то, что перовскитовые элементы имеют огромный потенциал для дальнейшего развития. В настоящее время известны четыре метода получения перовскитовых пленок: одношаговый метод (ОМ), двушаговый метод (ДМ), двушаговое осаждение с применением пара (ДОП), термическое осаждение из паровой фазы (ТОП). Наиболее распространенными являются первые из них. Более качественные пленки получаются с помощью двушагового метода, а более дешевые – с помощью одношагового. В таблице 1 приведены характеристики устройств, полученных различными методами.

Как видно из табл. 1, в последнее время характеристики перовскитов существенно изменились в сторону увеличения эффективности фотовольтаического устройства. Прежде всего это связано с усовершенствованием технологии нанесения тонких пленок, подбором химических растворов, параметров нанесения пленки, температуры, длительности отжига [4]. Следует отметить, что один из наиболее важных технологических параметров при нанесении пленки – частота оборотов подложки. Традиционно используют частоту оборотов порядка 5000 об/мин. Но изменение скорости вращения подложки по разному влияет на морфологию и толщину пленки и выходные параметры устройства.

Актуальной является задача формализации зависимости выходных характеристик фотоэлемента от технологических режимов, для чего авторами предложена систематизация процессов, протекающих в перовските, и определяющих физические характеристики тонкой пленки. Анализируя процесс нанесения раствора на подложку и последующего вращения, можно сказать, что при разных скоростях и при разной длительности нанесения раствора – морфология и толщина пленки существенно разнятся. Например, при высоких скоростях вращения подложки, пленки становятся крайне тонкими (толщина менее 100 нм). При этом межмолекулярные силы начинают доминировать над капиллярными, что приводит к нестабильности пленки и ее низкому качеству.

1. Основные характеристики наиболее распространенных перовскитовых фотоустройств [3]

Год	V_{oc}, (V)	,(mA/см^2)	FF, (%)	PCE, (%)	Метод
2012	0,89	17,6	62	9,7	ОМ
2013	0,99	20,0	73	15	ДМ
2013	1,07	21,5	67	15,4	ТОП
2013	0,92	19,8	66	12,1	ДОП
2014	1,13	22,8	75	19,3	ОМ
2015	1,09	23,8	76	19,7	ОМ

Библиографический список

1. **Систематизация** методов получения перовскитовых фотоэлементов / А. В. Мартынов, А. В. Печерский, Ф. А. Абдуллин, Ю. Е. Герасимова // Пензенский государственный университет. – 2017.
2. **Perovskite** Solar Cells: Progress and Advancements / Naveen Kumar Elumalai, Arafat Mahmud, Dian Wang, Ashraf Uddin // Energies. – 2016. – N 9. – P. 861.
3. **Pathways** Toward Hight-performance Perovskite Solar Cells: Review of Recent Advances in Organo-metal Halide Perovskites for Photovoltaic Applications / Zhaoning Song, SunethWatthage, Adam Phillips, Michael Heben // Journal of Photonics for Enetgy. – 2016. – N 6. – P. 32 – 45.
4. **Raksha S. V.**, Kondrashin V. I., Pecherskaya E. A., Nikolae K. O. // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2015. – 7, N 4. – P. 04062.

ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ СО СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРИ ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

И. В. Мещеряков, М. С. Демидов, И. В. Шарапов

Тамбовский государственный технический университет

Актуальной задачей обработки информации является синтез оптимальных и квазиоптимальных алгоритмов оценивания стохастических процессов, структура которых изменяется скачком в случайные моменты времени [1]. К данному классу задач относятся фильтрация параметров движения маневрирующей цели. Широкое применение при решении таких задач находят дискретные модели со случайной структурой, которые также называют моделями с переключениями [2]. Рассмотрим линейные дискретные модели со случайной структурой вида:

$$x(k+1) = \Phi_n(k)x(k) + \Gamma_n(k)\xi_{xn}(k),\ n = \overline{1, N};\ k = 0, 1, ...; \quad (1)$$

$$z(k) = H_m(k)x(k) + \xi_{um}(k),\ m = \overline{1, M};\ k = 0, 1, ..., \quad (2)$$

где $\Phi_n(k)$ – фундаментальная матрица, которая характеризует связь между переменными вектора состояния $x(k)$, например зависимости между дальностью, скоростью, ускорением и т.п.; $\xi_{xn}(k)$ – случайный вектор возмущений, учитывающий влияние случайных фактов на движение цели, представляющий собой дискретный белый шум с математическим ожиданием, равным нулю, и матрицей дисперсии ошибок возмущений $Q(k)$; $\Gamma_n(k)$ – матрица возмущений, характеризующая зависимости между компонентами вектора возмущений и переменными вектора состояния $x(k)$; $H_m(k)$ – матрица измерений размерностью, которая связывает переменные состояния $x(k)$ и

измерения (наблюдения) $z(k)$; $\xi_{ит}$ – вектор ошибок измерений, представляется вектором гауссовских белых шумов с математическим ожиданием $M\{\xi_{ит}\} = 0$ и матрицей дисперсии ошибок измерений $R(k)$.

Уравнение (1) описывает модель формирования процесса со случайной структурой $x(k)$ в виде дискретной динамической системы, а выражение (2) – механизм образования данных, доступных наблюдению, который также имеет случайную структуру. Тип и смена структуры уравнений (1), (2) определяются с помощью цепей Маркова матрицами вероятностей переходов [3, 4].

Для решения задачи фильтрации процесса со случайной структурой $x(k)$ по наблюдению $z(k)$ в настоящее время применяется байесовский метод адаптивного оценивания [5]. Однако синтезируемый на его основе оптимальный фильтр относится к классу устройств с растущим числом каналов и является практически нереализуемым, а квазиоптимальные фильтры получают путем ограничения числа каналов оптимального устройства.

Большое число задач статистического синтеза оптимальных систем может быть решено на основе теории условных марковских процессов [6]. Кроме основных четырех видов таких процессов существуют и более сложные смешанные марковские процессы (СМП), часть компонентов которых принимает непрерывное множество значений, а часть – дискретное. Наряду с широко применяемым классом СМП в непрерывном времени, важное практическое значение имеют СМП в дискретном времени [6]. При этом они адекватны решаемой задаче при реализации синтезированных алгоритмов на ЦВМ.

Таким образом, для повышения точности траекторной обработки информации является синтез оптимальных и квазиоптимальных алгоритмов оценивания стохастических процессов, структура которых изменяется скачком в случайные моменты времени, на основе теории условных марковских процессов.

Библиографический список

1. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.

6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

Статья написана под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИПЕРГРАФОВ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. А. Мокрозуб, И. В. Калистратова, А. В. Попов

Тамбовский государственный технический университет

Технический объект (изделие), в том числе и радиотехническое, представляет собой систему, состоящую из элементов и связей между ними. Представления структуры технических изделий в автоматизированных системах управления или проектирования регламентировано стандартами серии ISO 10303. Тем не менее, при разработке конкретных проектов требуется решение задач по такому представлению структуры технических систем, которое с минимальными затратами может быть реализовано на современных программных продуктах (языки программирования, базы данных и др.)

Ниже описаны способ представления структуры радиотехнических систем ориентированными гиперграфами и схема реляционной базы данных, предназначенной для хранения и обработки гиперграфов.

При этом на элементы системы накладываются ограничения, которые определяются доменной и ссылочной целостностью базы. Разработанные способы являются основой для создания программных шаблонов, которые позволяют снизить трудоемкость и время разработки систем автоматизированного проектирования и управления, в которых необходимо представлять структуру радиотехнических систем для описания объекта проектирования или управления.

Ориентированный гиперграф [1, 2] $G_{go}(X,U)$, где $X=\{x_i\}, i=\overline{1,I}$ – вершины гиперграфа, x_i – i-я вершина; $U=\{u_m(Y_m)\}$, $m=\overline{1,M}$ – ребра гиперграфа, $u_m(Y_m)$ – m-е ребро, Y_m – вершины инцидентные m-му ребру $Y_m \subseteq X$, $Y_m=\{x_k^l\}$, $k \in K_m$, $K_m \in \overline{1,I}$, l – номер вершины в ребре ориентированного гиперграфа $l=\overline{1,L_m}$.

На рисунке 1 представлены примеры ориентированных гиперграфов.

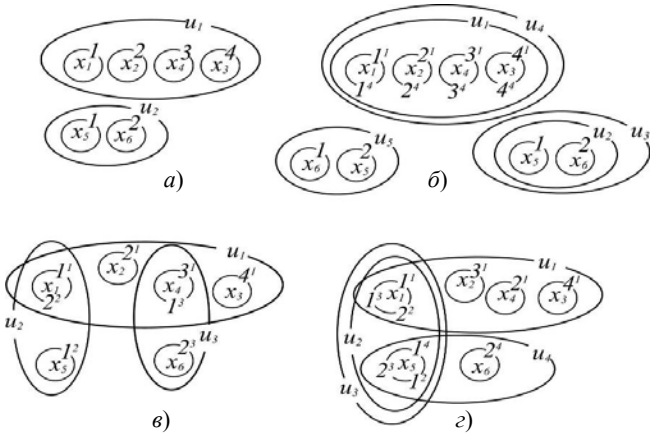


Рис. 1. Примеры ориентированных гиперграфов

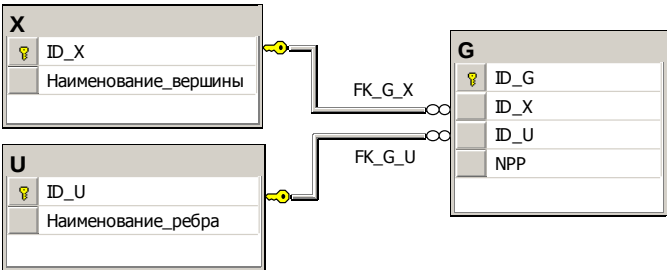


Рис. 2. Схема данных базы, описывающей ориентированные гиперграфы

Структура реляционной базы данных для хранения ориентированных гиперграфов представлена на рис. 2. Таблицы: X – вершины графа, U – ребра графа, G – граф (связи вершин и ребер). Поле NPP – номер вершины в ребре.

Библиографический список

1. **Мокрозуб, В. Г.** Программное обеспечение автоматизированных систем размещения объектов в пространстве, инвариантное к предметной области / В. Г. Мокрозуб, К. В. Немтинов, К. А. Шаронин // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2012. – № 3. – С. 11 – 20.

2. **Мокрозуб, В. Г.** Основные операции над n-ориентированными гиперграфами в реляционной базе данных / В. Г. Мокрозуб // Программные продукты и системы. – 2011. – № 1. – С. 59 – 64.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, профессора В. Г. Мокрозуба

ЭНЕРГОСБЕРГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ МОЩНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Д. О. Никитенков, М. В. Бесперстов, Н. А. Кольтюков

Тамбовский государственный технический университет

Одной из важнейших проблем человечества является экономия энергоресурсов. В связи с ростом цен на электроэнергию и топливо, усилением конкурентной борьбы между фирмами, производящими тепловые аппараты, машины с электроприводами, транспортные средства и другие энергопотребляемые изделия, а также учитывая сложность социально-экономической обстановки, актуальность задач экономии и рационального использования энергоресурсов с каждым годом возрастает. Проблема экономии топливо-энергетических ресурсов занимает важное место в тематике работ научно-исследовательских организаций, проектных и промышленных фирм всех стран мира.

В соответствии с ГОСТ Р513 80–99 (Энергосбережение) в настоящее время сертификации по показателям энергетической эффективности подлежит широкий перечень электрических машин, продукции машиностроительной промышленности, транспортных средств, объектов коммунального хозяйства и др.

Теоретические исследования и практические результаты показывают, что при оптимальном управлении уменьшение затрат энергии (расхода топлива) может достигать от 10 до 40% по сравнению с традиционно используемыми управляющими воздействиями. Кроме того, в динамических режимах, характеризуемых меньшими энергетическими затратами, снижаются механические и тепловые нагрузки, что ведет к повышению долговечности и безопасности эксплуатации объектов.

К наиболее энергоемким объектам относятся тепловые аппараты, машины с электроприводами, т.е. большинство видов технологических установок в машиностроительной, химической, металлургической, строительной и других отраслях промышленности, а также перемещающиеся объекты и транспортные средства. Эффект энергосбережения при использовании оптимального управления достигается за счет следующих факторов:

– оптимальное ведение динамических режимов при всех состояниях функционирования, т.е. в случае изменения модели динамики объекта или условий (исходных данных) задачи управления оперативно (в реальном времени) находится новое решение, и реализуются энергосберегающие управляющие воздействия для существующей ситуации;

– достижение задаваемого конечного значения вектора фазовых координат точно в требуемый момент времени, который, в свою очередь, выбирается оптимальным;

– использование оптимальной стратегии реализации энергосберегающего управления (программной, позиционной или другой) для каждого состояния функционирования;

– создание локальных и бортовых систем энергосберегающего управления на базе простых и дешевых микропроцессорных устройств.

Таким образом можно сделать вывод: что для создания систем энергосберегающего управления требуется решить комплекс теоретических задач, основными из них являются:

– полный анализ задач оптимального управления для типовых моделей динамики энергоемких объектов, различных видов минимизируемых функционалов и стратегий реализации управляющих воздействий, ограничений на управления и фазовые координаты, встречающиеся в реальных условиях;

– анализ энергосберегающего управления машинами и аппаратами на множестве состояний функционирования, когда возможны изменения моделей объектов стратегий и функционалов;

– анализ энергосберегающего управления многомерными объектами;

– идентификация моделей динамических режимов, в том числе нелинейных и с временным запаздыванием по каналу управления, пригодных для использования в системах энергосберегающего управления.

Библиографический список

1. **Кольтюков, Н. А.** Оптимальное энергосберегающее управление смесительными машинами предприятий по производству и переработке полимерных материалов : дис. … канд. техн. наук / Н. А. Кольтюков ; ТГТУ. – Тамбов, 2002. – 174 с.
2. **Белоусов, О. А.** Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом / О. А. Белоусов, Н. А. Кольтюков, Ю. Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 5(65). – С. 27 – 29.
3. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм сопровождения с реконфигурацией модели / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 418 – 423.
5. **Данилов, С. Н.** Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 2-й Междунар. конф. с элементами научной школы. – Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 года. – С. 304–305.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ В ТРЕТИЧНОЙ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ

Ю. Н. Панасюк, А. И. Рогачев, А. И. Сустин

Тамбовский государственный технический университет

При третичной обработке радиолокационной информации решаются следующие задачи [1]:

– отождествление отметок от одного воздушного судна (цели), полученных источниками информации от нескольких радиолокационных станций (РЛС);

– формирование оценок измерений по данным от нескольких источников;
– построение траектории по объединенным данным.

Для построения траектории одной отметки с более точными характеристиками координаты и параметры движения воздушного судна от нескольких РЛС усредняются [2, 3]

$$\boldsymbol{X}^{\mathbf{T}} = [X_1, X_2, X_3, X_n], \tag{1}$$

где X_n – n-я координата и параметр цели (дальность, азимут, угол места, скорость и т.д.).

Простейший метод усреднения заключается в том, что вычисляется среднее арифметическое координат и параметров движения цели по формуле

$$X_n = \left(\sum_{i=1}^{m} X_{ni} \right) \Big/ m, \tag{2}$$

где m – количество отметок от одной цели; X_{ni} – n-я координата и параметр i-й РЛС цели.

Метод усреднения (2) достаточно прост, но он не учитывает весовые коэффициенты среднеквадратических ошибок (СКО) измерителей каждой РЛС. В этом случае усредненные СКО координат и параметров движения цели равно

$$\sigma_n = \left(\sum_{i=1}^{m} \sigma_{ni} \right) \Big/ m, \tag{3}$$

где σ_{ni} – СКО n-й координаты и параметра i-й РЛС цели.

Для улучшения точностных характеристик координат и параметров движения цели необходимо учитывать весовые коэффициенты среднеквадратических ошибок (СКО) b_{ni} измерителей каждой РЛС

$$X_n = \left(\sum_{i=1}^{m} b_{ni} X_{ni} \right) \Big/ \left(\sum_{i=1}^{m} b_{ni} \right). \tag{4}$$

Весовые коэффициенты b_{ni} можно вычислять по формуле

$$b_{ni} = \frac{1}{\sigma_{ni}^2}, \tag{5}$$

где σ_{ni}^2 – дисперсии n-й координаты и параметра i-й РЛС цели.

Усредненные СКО координат и параметров движения цели с учетом весовых коэффициентов близки к СКО РЛС, которые имеют наиболее точную информацию [4 – 6].

В заключении можно отметить важность третичной обработки информации, которая позволяет повысить точность определения координат воздушных судов для контроля воздушного пространства. Улучшение точностных характеристик систем обработки радиолокационной информации увеличивает пропускную способность автоматизированных систем управления воздушным движением при заданном уровне безопасности.

Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.
5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.
6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРТОВЫХ ДАТЧИКОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УВД

В. С. Панфилов

Тамбовский государственный технический университет

С учетом ускорения воздушного судна можно использовать следующую модель состояния в дискретном времени [1, 2]:

$$\left.\begin{aligned}
&Д(k+1) = Д(k) + V(k)T + 0{,}5a(k)T^2;\\
&V(k+1) = V(k) + a(k)T;\\
&a(k+1) = V_ц(k)(\sin\varepsilon_в(k)\cos\theta(k)(\omega_\theta(k) - \omega_в(k)\cos(\varphi(k) - \varepsilon_г(k)) +\\
&\qquad + \sin\theta(k)\cos\varepsilon_в(k)(\omega_в(k) - \omega_\theta(k)\cos(\varphi(k) - \varepsilon_г(k)) +\\
&\qquad + \cos\varepsilon_в(k)\cos\theta(k)\sin(\varphi(k) - \varepsilon_г(k))(\omega_г(k) - \omega_\varphi(k));\\
&\theta(k+1) = \theta(k) + \omega_\theta(k)T;\\
&\omega_\theta(k+1) = (1 - \alpha T)\omega_\theta(k) + \xi_{\omega\theta}(k-1);\\
&\varphi(k+1) = \varphi(k) + \omega_\varphi(k)T;\\
&\omega_\varphi(k+1) = (1 - \alpha T)\omega_\varphi(k) + \xi_{\omega\varphi}(k).
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Для обеспечения оценки фазовых координат (1), должны измеряться дальность $Д_и$, угол наклона $\theta_и$, угол поворота траектории $\varphi_и$ [3]:

$$Д_и(k) = Д(k) + \xi_{ди}(k); \quad (2)$$

$$\theta_и(k) = \theta(k) + \xi_{\theta и}(k); \quad (3)$$

$$\varphi_и(k) = \varphi(k) + \xi_{\varphi и}(k), \quad (4)$$

в которых $\xi_{ди}$, $\xi_{\theta и}$, $\xi_{\varphi и}$ – дискретные центрированные гауссовские шумы измерений с известными дисперсиями $D_{Д_и}$, $D_{\theta_и}$ и $D_{\varphi_и}$.

На основании модели состояния (1), модели наблюдения (2) – (4) и с учетом выражений нелинейной фильтрации получен рекуррентный алгоритм первого порядка [4 – 6].

Имитационное моделирование проводилось для двух случаев. В первом случае в дальномерном канале не измеряются углы $\theta_ц$ и $\varphi_ц$ ($a_в = 0$). Во втором случае в дальномерном канале измеряются углы $\theta_ц$ и $\varphi_ц$ ($a_в \neq 0$).

На рисунке 1 приведен график изменения во времени СКО оценки фильтрации дальности (Д) по линии визирования между РЛС АС УВД и воздушным судном. Как видно из рис. 1, при совершении маневра, СКО оценки Д значительно меньше при использовании информации бортовых датчиков пространственного положения цели ($a_в \neq 0$), чем при отсутствии этой информации ($a_в = 0$).

Анализ результатов исследованных алгоритмов показал, что точность оценки фазовых координат цели значительно лучше по сравнению с существующими алгоритмами (СКО фазовых координат уменьшается в 2 раза).

Применение синтезированных алгоритмов позволит более качественно выполнять задачи системы УВД по увеличению пропускной способности при заданном уровне безопасности.

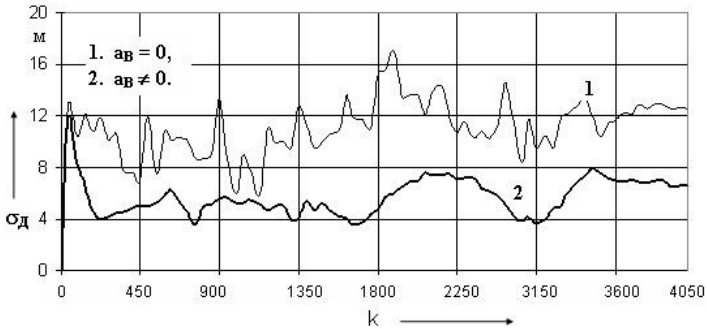


Рис. 1. График изменения во времени СКО оценки фильтрации дальности

Библиографический список

1. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Пудовкин А. П., Рогачев А. И. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.
6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОСАДКИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

В. С. Панфилов

Тамбовский государственный технический университет

Системы посадки метрового диапазона предназначены для получения на борту воздушного средства и выдачи экипажу посадочной информации о значении и знаке отклонения воздушного средства от номинальной траектории снижения, а также для определения моментов пролета характерных точек на траектории захода на посадку. Различают системы посадки I, II и III категорий [1 – 3]. Наиболее широкое применение находят системы I и II категорий. Более дорогая и сложная аппаратура III категории используется в крупных аэропортах с высокой интенсивностью воздушного движения и повышенной вероятностью неблагоприятных метеоусловий.

Система I категории служит для получения посадочной информации при заходе воздушного средства на посадку от границы зоны действия системы посадки до высоты принятия решения, соответствующей 60 м над горизонтальной плоскостью, проходящей через начало взлетно-посадочной полосы.

Система II категории предназначена для выдачи посадочной информации при заходе воздушного средства на посадку от границы зоны действия системы посадки до высоты принятия решения, соответствующей не менее 30 м над указанной горизонтальной плоскостью.

Система III категории должна выдавать посадочную информацию как при заходе воздушного средства на посадку, так и при приземлении в условиях значительного ограничения или отсутствия видимости наземных ориентиров.

Положение воздушного средства относительно заданной траектории снижения определяется угловыми отклонениями в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Угловые отклонения измеряются относительно плоскостей курса и глиссады.

Специфика формирования плоскостей приводит к ограничению эксплуатационных возможностей системы посадки [4]. Основное из этих ограничений – отсутствие выбора оптимальной для данного воздушного судна траектории снижения и необходимость захода на посадку только по одной траектории, угол наклона которой в вертикальной плоскости (угол глиссады). Сигналы, пропорциональные углу наклона, выдаются только в узком секторе пространства (примерно 4° в горизонтальной и 1° в вертикальной плоскостях. Поэтому для завершения посадки обычно используют радиовысотомер [1, 5, 6].

Таким образом, выбор системы посадки метрового диапазона влияет на рациональное, безопасное и экономически выгодное использование воздушного пространства в авиации для создания системы управления воздушным движением.

Библиографический список

1. **Сосновский, А. А.** Авиационная радионавигация : справочник [Текст] / А. А. Сосновский, И. А. Хаимович, Э. А. Лутин, И. Б. Максимов – М. : Транспорт, 1990. – 264 с.

2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.

4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.

6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

ЗИГЗАГООБРАЗНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ПРИЕМА ЦИФРОВОГО ТВ

Р. А. Перетокин, А. С. Самодуров

Воронежский государственный технический университет

Зигзагообразная антенна (рис. 1) представляет собой конструкцию, обеспечивающую успешный прием электромагнитных волн в ультракоротковолновом диапазоне. Антенны такого типа вполне подходят для приема двух мультиплексов цифрового телевидения в г. Воронеж, вещаемых на частотах 650 и 720 МГц.

Антенна обладает простой конструкции, хорошей повторяемостью и широкополосностью. В пределах диапазона частот, на который рассчитана антенна, она обладает постоянными параметрами и практически не требует настройки.

Конструкция представляет собой синфазную антенную решетку из двух ромбовидных элементов, расположенных друг над другом и имеющих одну общую пару точек питания.

Полотно зигзагообразной антенны состоит из восьми замкнутых одинаковых проводников, которые образуют две ромбовидные ячейки. Для формирования диаграммы направленности антенны в частности, необходимо, чтобы излучатели были сфазированы и разнесены относительно друг друга.

Выполнение полотна зигзагообразной антенны удобно тем, что ее конструкция сравнительно проста и отклонения в ту или иную сторону от номинальных размеров, неизбежные при изготовлении антенны, практически не сказываются на ее параметрах.

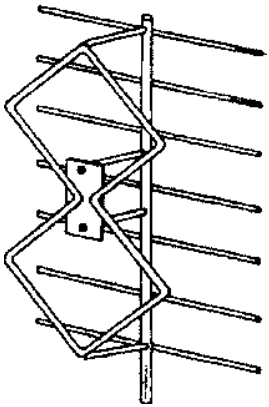


Рис. 1. Зигзагообразная антенна с экраном-рефлектором

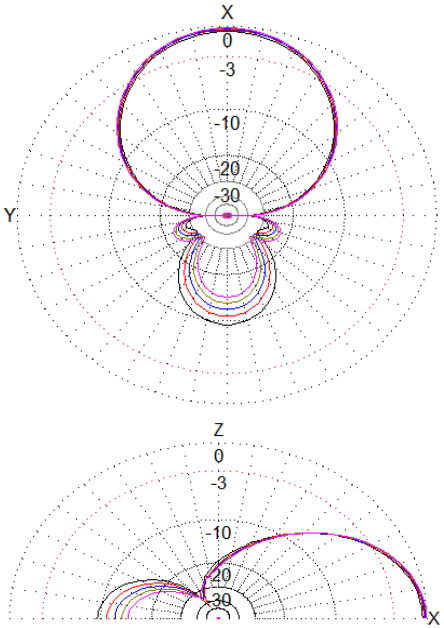


Рис. 2. Диаграмма направленности зигзагообразной антенны с экраном-рефлектором

Для увеличения направленности антенны, состоящей из зигзагообразного полотна, применяют плоский экран-рефлектор. В его задачу входит отражение части высокочастотной энергии, падающей на экран, в сторону полотна антенны.

Зигзагообразная антенна с рефлектором обладает односторонней диаграммой направленности в виде вытянутых эллипсов, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, причем задний лепесток практически отсутствует.

При требуемом сложении полей, экран примерно удваивает первоначальный коэффициент усиления антенны порядка 4…5 дБ до уровня более 9 дБ в заданном диапазоне частот.

На рисунке 2 представлены результаты моделирования диаграмм направленности в пределах требуемой полосы рабочих частот в программе MMana.

При этом коэффициент стоячей волны не превышает 2. Имеется возможность улучшить согласование зигзагообразной антенны при помощи трансформатора сопротивлений, включенного между антенной и фидером. Трансформатор прост в изготовлении, его можно выполнить в виде отрезка коаксиального кабеля. Это позволяет приблизить полотно антенны к экрану и тем самым улучшить направленные свойства антенны.

Антенна была изготовлена и проверена на функциональность, удалось подтвердить заявленный коэффициент усиления более 9 дБ в заданном диапазоне частот.

Библиографический список

1. **Харченко, К. П.** УКВ антенны / К. П. Харченко. – М. : ДОСААФ, 1969. – 112 с.

2. **Ротхаммель, К.** Антенны / К. Ротхаммель. – М. : Лайт ЛТД, 2007. – 820 с.

Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора Ю. Г. Пастернака

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ И КОРОТКИХ ВОЛН В РАДИОТЕХНИКЕ

А. С. Писарчук, А. С. Малмалаев

Тамбовский государственный технический университет

Радиоволны (радиочастоты), используемые в радиотехнике, занимают спектр от 10 000 м (30 кГц) до 0,1 мм (3000 ГГц). За радиоволнами (по убывающей длине) следуют тепловые или инфракрасные лучи. После них идет узкий участок волн видимого света, далее – спектр ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма лучей – все это электромагнитные колебания одной природы, отличающиеся только длиной волны и, следовательно, частотой [1].

Ультракороткие волны (УКВ) – радиоволны с длиной волны от 1 мм до 10 м. Диапазон частот УКВ соответственно – 30 МГц до 300 ГГц. Ультракороткие волны включают радиоволны из диапазонов метровых (МВ), дециметровых (ДМВ) сантиметровых (СМВ) волн и миллиметровых радиоволн (или диапазоны очень высоких частот – ОВЧ, ультравысоких частот – УВЧ, сверхвысоких частот – СВЧ, крайне высоких частот – КВЧ), традиционное в СССР название диапазона радиоволн. В советской и российской истории радиовещания аббревиатура УКВ (диапазон УКВ, приемник УКВ, радиостанция УКВ) использовалась в обиходе применительно к диапазону ЧМ-вещания в полосе частот 65,9…74,0 МГц [2]. Применение диапазонов УКВ объясняется преимуществами, присущими радиоволнам этого диапазона по сравнению с волнами других диапазонов. Радиоволны УКВ диапазона хорошо отражаются от предметов, встречающихся на пути их распространения. В этом диапазоне наблюдается значительно меньше индустриальных помех. УКВ широко применяются в системах связи и вещания. Большинство таких систем работает в пределах зон, ограниченных условиями прямой видимости. Увеличение дальности связи достигается в радиорелейных линиях (РРЛ) – цепочке ретрансляционных станций, отстоящих друг от друга на расстоянии прямой видимости. В РРЛ используют волны УВЧ- и СВЧ-диапазонов. Использование в РРЛ в качестве ретранслятора ИСЗ обеспечивает связь между наземными пунктами, удаленными более чем на 10 тыс. км. Диапазон УКВ является единственным, в котором осуществляются телевизионные передачи и организуется высококачественное частотно-модулированное (FM) радиовещание. УКВ используются также в системах радиолокации, ближней радионавигации и радиоастронавигации, радиотелеуправления и радиодистанциометрии. Радиоволны УКВ-диапазона применяются при изучении атмосферы звезд, планет, туманностей (радиоастрономия), в медицине для определения температуры биологических объектов (радиотермография), при изучении структуры и состава вещества (радиоспектрометрия) [3].

Короткие волны (также декаметровые волны) – диапазон радиоволн с частотой от 3 МГц (длина волны 100 м) до 30 МГц (длина волны 10 м). Преимуществом работы на коротких волнах по сравнению с работой на более длинных волнах является то, что в этом диапазоне можно легко создать на-

правленные антенны. Короткие волны могут распространяться как земные, в низкочастотной части диапазона, и как ионосферные. Ионосферной волной короткие волны могут распространяться на многие тысячи километров, причем для этого не требуется передатчиков большой мощности. Поэтому в настоящее время короткие волны используются главным образом для связи и вещания на большие расстояния. Короткие волны распространяются на дальние расстояния путем отражения от ионосферы и поверхности Земли. Такой способ распространения называется скачковым и характеризуется расстоянием скачка, числом скачков, углами выхода и прихода, максимальной применимой частотой (МПЧ) и наименьшей применимой частотой (НПЧ). Короткие волны применяются для мирового радиовещания и для международных связей. На коротких волнах работает также очень много радиолюбительских приемно-передающих радиостанций, устанавливающих между собой связи на очень больших расстояниях при очень малых мощностях своих радиостанций. Так же их используют в радиосвязи, при исследовании ионосферы Земли и планет, внешних слоев солнечной короны, других радиоастрономических объектов.

Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
2. **Панасюк, Ю. Н.** Электромагнитные поля : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин ; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 96 с.
3. **Пудовкин, А. П.** Основы теории антенн : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ АВТОМОБИЛЕМ, ОСНОВАННАЯ НА ФИЛЬТРЕ КАЛМАНА

А. В. Поплевин, А. Р. Хребтов

Тамбовский государственный технический университет

Для реализации функций автоматического управления беспилотным автомобилем система включает в себя следующие входные устройства: лидар, радары, видеокамера, датчик оценки положения, инерционный датчик движения, GPS приемник. Эти устройства позволяют получать информацию о ситуации на дороге.

Но этого недостаточно для обеспечения должной безопасности. В системах управления беспилотного автомобиля должны быть заложены возможности анализа и прогнозирования обстановки на дороге.

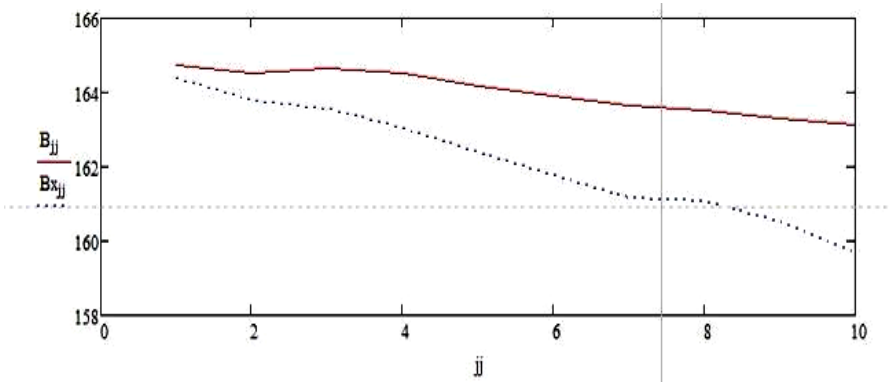


Рис. 1. Реализация прогноза расстояния

Был исследован способ прогнозирования, основанный на фильтре Калмана. Для этого сформирован процесс, имитирующий изменение расстояния между автомобилем, двигающимся на автопилоте, и впередиидущей машиной. Всего сформирована 991 реализация с интервалом в 1 с. Одна из реализаций прогноза расстояния (пунктир) в сравнении с реальным показана на рис 1.

При прогнозе на 10 с максимальная ошибка составила 3,2 м, что представляет собой лишь 2% от искомого значения расстояния. В связи с этим, способ прогнозирования может считаться достаточно точным.

Достоинством этой системы является то, что для ее работы не требуется большое количество измеренных значений расстояния, что делает ее использование целесообразной. Недостатком этого способа можно считать низкую пропускную способность и высокую чувствительность к неточностям статистического описания измерения.

Библиографический список

1. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.

2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.

4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

5. **Панасюк, Ю. Н.** Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

6. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – С. 374 – 380.

Работа выполнена под руководством
доктора технических наук, профессора С. Н. Данилова

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С БАЗОЙ ДАННЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. В. Попов, И. В. Калистратова, В. А. Мокрозуб

Тамбовский государственный технический университет

Основными составляющими базы радиотехнических элементов являются управляющая программа, дерево типоразмеров, таблицы типоразмеров и библиотека графических элементов [1 – 3].

Функция управляющей программы – формирование интерфейса доступа к дереву типоразмеров, к таблицам типоразмеров и к библиотеке графических элементов.

Таблицы типоразмеров составляются на основании нормативных документов (ГОСТ, ОСТ, ТУ), действующих на территории Российской Федерации, отдельно для каждого радиотехнического элемента и содержат полное наименование элемента и все его характеристики, имеющиеся в соответствующем этому элементу нормативном документе.

Диаграмма активности взаимодействия пользователя с управляющей программной представлена на рис. 1.

Выбор пользователем необходимого элемента в базе данных осуществляется в следующей последовательности:

1) управляющая программа выбирает из базы данных дерево типоразмеров и визуализирует его на экране;

2) пользователь выбирает соответствующую ветвь дерева;

3) если это лист дерева, то переход на пункт 3, иначе раскрытие дочерних ветвей выбранной ветви и переход на пункт 2;

4) управляющая программа визуализирует выбранный элемент на экране;

5) пользователь указывает необходимость вывода таблицы типоразмеров элемента;

6) управляющая программа выводит таблицу типоразмеров и чертеж элемента на экран;

7) пользователь выбирает необходимую строку таблицы типоразмеров выбранного элемента.

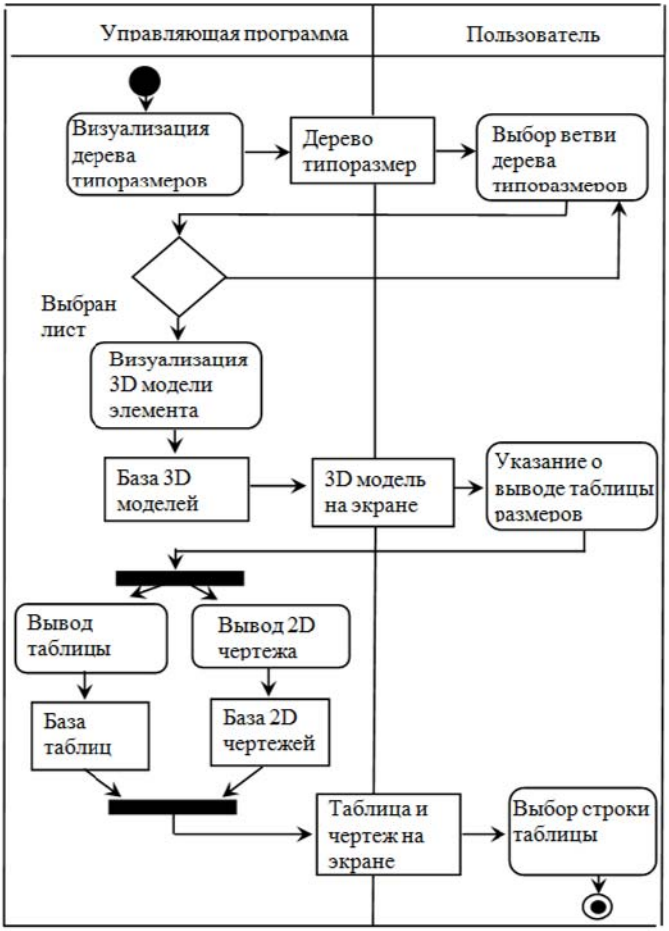


Рис. 1. Диаграмма активности взаимодействия пользователя и управляющей программы

Библиографический список

1. **Мокрозуб, В. Г.** База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В. Г. Мокрозуб и др. // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 29 – 32.
2. **Немтинов, В. А.** Автоматизированный выбор элемента радиотехнической системы / В. А. Немтинов, С. Я. Егоров, В. Г. Мокрозуб // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – № 11. – С. 42 – 46.

Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, профессора В. Г. Мокрозуба

СИСТЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ

Д. И. Прошина, Е. А. Сулейменов, А. А. Прошин, Н. С. Реута, В. В. Самаров

Пензенский государственный университет

В современном мире, в котором и шагу нельзя ступить, чтобы не пройти через какую-либо радиоволну, радиоэлектронная борьба (РЭБ) и радиоэлектронное подавление (РЭП) играют чуть ли не самую главную роль при ведении боевых действий. Дадим определения этим двум понятиям. Радиоэлектронная борьба – один из видов вооруженной борьбы, проводя которую, осуществляют воздействие помехами на радиоэлектронную аппаратуру противника, отвечающую за связь, управление, разведку и многое другое, с целью исказить или же вовсе уничтожить передаваемую по каналам информацию. Радиоэлектронное подавление в свою очередь является составной частью РЭБ, концентрирующейся на радиотехническом, оптико-электронном и гидроакустическом подавлении. Обеспечение работы РЭП состоит в создании активных и пассивных помех, использовании ложных целей, ловушек и т.д.

Так как РЭП – это только лишь часть РЭБ, не будем заострять на первом особое внимание, а перейдем сразу к описанию старшего товарища.

Объектами радиоэлектронной борьбы выступают важнейшие радиоэлектронные единицы противника, выведение которых из строя может привести к потере связи, что в свою очередь повлечет за собой невозможность управления войсками, силами и оружием, использующим для этого радиосвязь.

Главной целью радиопомех являются приемные устройства радиосредств врага. Помехи создаются при помощи активных и пассивных средств. К активным можно отнести средства, в основе которых лежит принцип генерации (специальные станции для создания помех, передатчики). Пассивные же средства, как можно догадаться из названия, действуют на эффекте отражения (угловые отражатели, дипольные отражатели и т.д.).

Ввиду современного развития радиотехники, РЭБ в наше время представляет собой целый комплекс мер по контролю действий войск, проводящихся в целях снижения эффективности управления силами и оружием противника, обеспечения заданной эффективности управления своими войсками и отработке своих средств противодействия.

Библиографический список

1. **Макаренко, С. И.** Радиоэлектронное функциональное подавление сетецентрических систем управления / С. И. Макаренко // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях : сб. тр. науч.-практ. конф. Военная академия связи. – 2016. – С. 290–291.

2. **Разработка** ретранслятора радиосигналов и его компьютерной модели / Ю. А. Сивагина, Н. В. Горячев, И. Д. Граб и др. // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2013. – Т. 1. – С. 171 – 173.

3. **Исследование** программных пакетов моделирования влияния электромагнитных воздействий на изделия радиоэлектронных средств / С. А. Бростилов, Т. Ю. Бростилова, Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2015. – Т. 1. – С. 206 – 209.

4. **Козлов, В. В.** Определение зон функционального подавления объектов вооружения и военной техники и чувствительных элементов радиоэлектронных систем электромагнитными импульсами / В. В. Козлов, Д. Л. Голубцов, В. И. Ладанов ; под общ. ред. А. А. Бердникова // Актуальные вопросы совершенствования военной и специальной техники : сб. науч. матер. – Пермь, 2017. – С. 38 – 45.

5. **Мешкова, Е. В.** Исследование структурной модели системы радиоэлектронного подавления аэростатного базирования / Е. В. Мешкова, Е. В. Митрошина // Контентус. – 2016. – № 8(49). – С. 104 – 106.

6. **Севидов, В. В.** Антенно-фидерные системы средств радиоэлектронного подавления : учебное пособие / В. В. Севидов, Р. В. Волков, А. Н. Симонов ; под ред. Р. В. Волкова. – СПб., 2015.

7. **Леньшин, А. В.** Выбор показателей для оценки эффективности противодействия системам опознавания / А. В. Леньшин, В. В. Лебедев // Радиотехника. – 2015. – № 12. – С. 18 – 21.

8. **Луценко, А. Д.** Технология обоснования и формирования системы целевых программ по реализации стратегий развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы / А. Д. Луценко, В. А. Орлов, Д. М. Бывших // Государственное управление. Электронный вестник. – 2017. – № 60. – С. 122 – 138.

9. **Годунов, А. И.** Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами / А. И. Годунов, С. В. Шишков, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2(6). – С. 62 – 70.

10. **Терехин, А. В.** Распознавание объектов методом вычисления оценок с использованием диагональных признаков формы / А. В. Терехин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 1(29). – С. 17 – 25.

11. **Батьковский, М. А.** Инструментарий оценки развития систем радиоэлектронной борьбы / М. А. Батьковский // Новая наука: Опыт, традиции, инновации. – 2017. – Т. 1, № 3. – С. 97 – 100.

12. **Балыбин, В. А.** О совершенствовании системы вооружения радиоэлектронной борьбы / В. А. Балыбин, Ю. О. Батурин, А. А. Гулидов // Военная мысль. – 2013. – № 11. – С. 14 – 20.

13. **Луценко, А. Д.** Экономико-математические модели реализации различных стратегий развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы / А. Д. Луценко, В. А. Орлов, Д. М. Бывших // Радиопромышленность. – 2017. – № 3. – С. 113 – 122.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ СУБПОЛОСНЫХ МАТРИЦ

С. А. Рачинский, Н. И. Золотарь

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Эффективность применения широкополосных сигналов (ШПС) в системах связи различного назначения, как известно [1, 2], в значительной степени определяется шириной полосы частот, которую они занимают. В связи с этим в докладе представлены результаты исследования частотных характеристик нового класса широкополосных сигналов, построенного на основе применения собственных векторов субполосных матриц, а также приведен сравнительный анализ аналогичных характеристик ряда существующих классов широкополосных сигналов.

Метод формирования разработанного класса широкополосных сигналов заключается в использовании для передачи информационных элементов (1 и 0) передаваемых сообщений различных псевдослучайных последовательностей (ПСП), при этом каждый элемент этих последовательностей (1 и –1) предлагается передавать противоположными собственными векторами со значениями собственных чисел, близких к единице, которые выбираются из набора собственных векторов субполосной матрицы Q с элементами вида:

$$A_{i,\,j} = \begin{cases} \dfrac{\sin(\nu(i-j))}{\pi(i-j)}, & i \neq j; \\ \nu/\pi, & i = j, \end{cases} \qquad (1)$$

где индексы i и j принимают значения с шагом 1 от 0 до L (размерность матрицы, т.е. количество отсчетов собственного вектора), а ν – коэффициент, определяющий ширину полосы формируемого собственного вектора.

Для проведения сравнительного анализа ширины полосы частот, которые занимают: разработанный класс широкополосных сигналов; широкополосные сигналы, полученные методом прямого расширения спектра [2], которые обозначим ПСП сигналы и широкополосные сигналы, сформированные при использовании функций в виде вейвлет Морлета и вейвлетами Шеннона [3] использовались следующие параметры:

– скорость передачи информации $\nu = 9{,}6 \cdot 10^3$ кБит/с;
– частота дискредитации $Fd = 6$ ГГЦ;
– несущая частота $f = 1{,}646$ ГГЦ;
– длительность информационной последовательности $T = 10^{-4}$ с.

Результаты сравнительного анализа приведены в численном виде в табл. 1.

1. Ширина полосы частот исследуемых сигналов

Моделирующая функция	Длина ПСП, бит					
	31	63	127	511	1023	2047
Собственный вектор субполосной матрицы, $L = 1024$	48	100	200	800	1600	3200
ПСП	0,3	0,6	1,2	4,8	9,6	19,2
Вейвлет Морлета	20	42	84	336	672	1344
Вейвлет Шеннона $Fb = 1$; $Fc = 1{,}5$	24	48	96	387	768	1559

Таким образом, из анализа представленных в табл. 1 данных видно, что широкополосные сигналы, построенные на основе применения собственных векторов субполосных матриц имеют значительно большую полосу частот, чем широкополосные сигналы, сформированные при использовании функций в виде вейвлет Морлета или вейвлетов Шеннона, или широкополосные сигналы, полученные методом прямого расширения спектра, а, следовательно, их применение в системах беспроводной связи позволит значительно повысить достоверность информационного обмена.

Библиографический список

1. **Борисов, В. И.** Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляции несущей псевдослучайной последовательностью / В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев. – М. : Радио и связь, 2003. – 640 с.

2. **Варакин, Л. Е.** Система связи с широкополосными сигналами / Л. Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.

3. **Кузовников, А. В.** Исследование методов построения помехоустойчивых систем связи с использованием вейвлет-модулированных сигналов / А. В. Кузовников // Радиотехника и электроника. – 2014. – Т. 59, № 1. – С. 67 – 77.

Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора, профессора кафедры ИТСиТ НИУ «БелГУ» С. П. Белова, при поддержке гранта РФФИ № 17-07-00289

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАМАТЕРИАЛОВ ПРИ СОЗДАНИИ ПЛОСКИХ ЛИНЗОВЫХ АНТЕНН

Л. В. Резникова

Дальневосточный федеральный университет

С непрерывным развитием систем связи также возрастают требования к производительности антенн. Особое место занимают высоконаправленные антенны, широко применяющиеся в современных системах связи.

Высокой направленностью обладают антенные решетки (многоэлементные системы, в которых элементы возбуждаются токами с требуемым соот-

ношением амплитуд и фаз), зеркальные и линзовые антенны. Стандартные антенные решетки имеют такой недостаток, как необходимость сложной системы цепи питания, зеркальные антенны крупногабаритны и очень сложны при настройке и установке. Линзовые антенны преодолели перечисленные недостатки, обеспечивая высокую направленность, однако особая форма стандартных линзовых антенн усложняет процесс их создания и установки. Линзовые антенны, обладающие способностью сканирования пространства в широком диапазоне углов, широко применяют для современных систем спутниковой связи, радиолокационных и космических систем.

В сочетании с разработанной технологией печатных плат (PCB – printed circuit board), печатные плоские структуры могут использоваться в любых видах конструкций антенн, а особенно в конструкции линзовых антенн. Быстрое развитие плоских линзовых антенн [1, 2] связано с тем, что они сохраняют основные характеристики и параметры стандартных линзовых антенн, имеют более низкие потери и небольшие размеры.

С появлением метаматериалов создание линзовых антенн приобрело совершенно новое направление в антенной технике. Вместо естественных и искусственных диэлектриков теперь стало возможным использовать метаматериал – композиционный материал, свойства которого обусловлены не столько свойствами составляющих его элементов, сколько искусственно созданной периодической структурой из макроскопических элементов, обладающих произвольными размерами и формой [3]. Учитывая недостатки объемных метаматериалов, последние 4 года стали набирать популярность метаповерхности – это двумерные модели метаматериала, обладающие аномальным отражением/преломлением, фокусировкой ЭМ волн, преобразованием поляризации.

В настоящее время были исследованы разнообразные виды и структуры метаповерхностей и метаматериалов, использующиеся для создания фокусирующей линзы в линзовых антеннах, такие как фазоградиентная метаповерхность (PGMS – phase-gradient metasurface) [4 – 6]; метаматериал с градиентным показателем преломления (GRIN – gradient refractive index) [7]; метаповерхность, в которой градиентное изменение фазы достигается с помощью поворота единичной ячейки (GPGM – geometrical phase gradient metasurface) [8]; метаповерхность, созданная на основе анизотропной ABBA системы (четырехслойная система с идентичными структурами в 1 и 4 слоях, и другой группой идентичных структур во 2 и 3 слоя, отсюда и название этой системы) [9] и многие другие.

Все перечисленные структуры показали хороший результат при фокусировке луча, обеспечивая высокий коэффициент усиления, низкий уровень боковых лепестков и небольшие размеры конструкций линзовых антенн. Таким образом, применение метаматериала в антенной технике, а именно в качестве фокусирующих линз в линзовых антеннах имеет огромный потенциал для беспроводной и спутниковой связи.

Библиографический список

1. **Gagnon, N.**, Petosa A., McNamara D. A. Thin Microwave Quasi-transparent Phase-shifting Surface (PSS). IEEE Trans. Antennas Propag. – Apr. 2010. – V. 58, N 4. – P. 1193 – 1201.

2. **Gagnon, N.**, Petosa A., McNamara D. A. Phase-correcting Lens Antennas Made Using a Three-layer Phase Shifting Surface (PSS) at Ka Band. In 14th Int. Symp. on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM 2010), Ottawa, Canada, Jul. 2010, (digital format).

3. **Engheta, Nader**, Ziolkowski, Richard W. Metamaterials: Physics and Engineering Explorations // John Wiley & Sons & IEEE Press, 2006. – P. xv, 3 – 30, 37, 143 – 150, 215 – 234, 240 – 256. – 440 p.

4. **Zhi, Li,** Jianxun Su, Zengrui Li. "Design of High-gain Lens Antenna Based on Phase-gradient Metasurface". – 2016 IEEE. – P. 135 – 138.

5. **Haipeng, Li,** Guangming Wang, He-Xiu Xu, Tong Cai, and Jiangang Liang "X-Band Phase-Gradient Metasurface for High-Gain Lens Antenna Application" IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – November 2015. – V. 63, N 11. – P. 5144 – 5149.

6. **Haisheng, Hou,** Guangming Wang, Haipeng Li, Wenlong Guo, Tangjing Li. "Highly Efficient Multifunctional Metasurface for High-gain Lens Antenna Application". Appl. Phys. A (2017) 123:460 DOI 10.1007/s00339-017-1070-7, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017, p. 460 (8 pages).

7. **Liu, Y,** Liu C, Jin X, et al. Beam Steering by Using a Gradient Refractive Index Metamaterial Planar Lens and a Gradient Phase Metasurface Planar Lens. Microw Opt Technol Lett. 2018 ; 60:330 – 337. https://doi.org/10.1002/mop.30956

8. **Tang-Jing, Li**, Jian-Gang Liang, Hai-Peng Li, and Ya-Qiao Liu. "Ultra-thin Single-layer Transparent Geometrical Phase Gradient Metasurface and its Application to High-gain Circularly-polarized Lens antenna". Chin. Phys. B. – 2016. – V. 25, N 9. – 094101 (5 pages).

9. **Tong, Cai**, Guang-Ming Wang, Jian-Gang Liang, Ya-Qiang Zhuang, and Tang-Jing Li. "High-Performance Transmissive Meta-Surface for C-/X-Band Lens Antenna Application". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – July 2017. – V. 65, N 7. – P. 3598 – 3606.

Работа выполнена под руководством
доктора физико-математических наук, профессора Л. Г. Стаценко

ТРЕТИЧНАЯ ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В УГЛОМЕРНОМ КАНАЛЕ

А. И. Рогачев, А. И. Сустин

Тамбовский государственный технический университет

При третичной обработке радиолокационной информации используется две радиолокационные станции (РЛС), которые входят в состав автоматизированной системы управления воздушным движением (рис. 1).

Для улучшения точностных характеристик угломерного канала необходимо учитывать весовые коэффициенты [1 – 3]

$$\varphi_{\text{ТОИ}} = \frac{b_1\varphi_1 + b_2\varphi_2}{b_1 + b_2}, \qquad (1)$$

где b_1 и b_2 – весовые коэффициенты СКО измерителей РЛС1 и РЛС2.

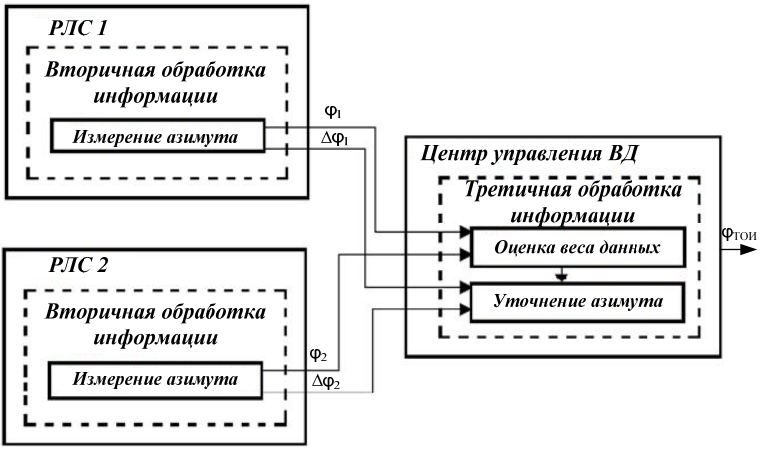


Рис. 1. Структурная схема угломерного канала

Весовые коэффициенты можно вычислить по формулам [4 – 6]:

$$b_1 = \frac{1}{\Delta\varphi_1^2};\ b_2 = \frac{1}{\Delta\varphi_2^2}, \qquad (2)$$

где $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ – невязки азимутов угломерных каналов РЛС1 и РЛС2.

Проводилось моделирование работы угломерных каналов РЛС1 и РЛС2 на примере выполнения воздушным судном маневра «большая коробочка». Результаты моделирования представлены на рис. 2, где показано изменение азимутов воздушного судна φ_1 и φ_2 относительно РЛС1 и РЛС2.

Таким образом, линейные и нелинейные изменения азимута от времени влияют на величину СКО измерителей азимута. Учет весовых коэффициентов в зависимости от СКО позволяет получить оптимальную оценку информации об азимуте воздушного судна.

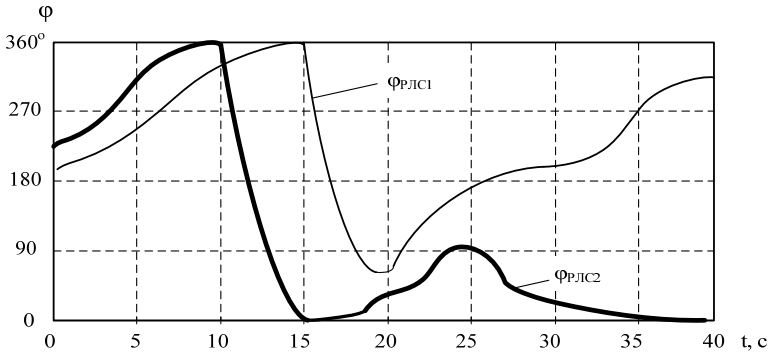


Рис. 2. Изменение азимутов воздушного судна φ_1 и φ_2

Библиографический список

1. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах: учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Пудовкин А. П., Рогачев А. И. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.
6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

Статья написана под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

СИСТЕМА ПОМОЩИ АВТОМОБИЛИСТУ ПРИ ПАРКОВКЕ

Р. А. Сарычев, Д. А. Сторожев

Тамбовский государственный технический университет

На практике отсутствие систем помощи при парковке не вызывает особых проблем, автомобиль можно припарковать и без них. Причем сделать это можно весьма аккуратно, просто парковка займет чуть больше времени. Кроме того, многие водители не понимают, какие преимущества даст им установка парктроника или камеры заднего вида. Поэтому количество автомобилей, не оборудованных системами помощи при парковке, остается довольно внушительным [1 – 4].

Систем помощи автомобилистам при парковке в наши дни довольно много, многие из них сейчас становятся довольно популярными. Среди них:

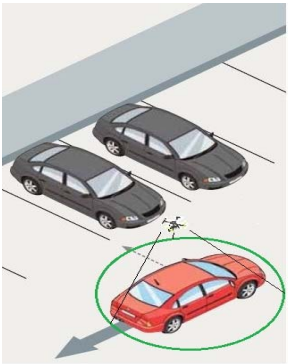


Рис. 1. Парковка при помощи дрона без помех

простейшая камера заднего вида, задний парктроник, состоящий из ультразвуковых датчиков, блока управления, дисплея для отображения расстояния, динамика для звукового оповещения. В дополнение к заднему парктронику устанавливают передний парктроник, который позволяет видеть край капота автомобиля. Но данные системы парковки имеют ряд довольно важных недостатков. Один из них это – невозможность получить информацию об углублении, например, открытый люк колодца.

Эту проблему позволяет решить система помощи автомобилистам при парковке, рассмотренная в данной статье.

Схема такого вида парковки представлена на рис. 1. При запуске режима парковки из док-станции вылетает дрон. В машине установлен радиомаяк, который связан с дроном. Дрон взлетает на заранее настроенную точку в пространстве, которая настраивается индивидуально для каждого автомобиля, так как каждый авто имеет свои размеры и местоположение радиомаяка. Далее изображение с дрона передается на экран в автомобиле. Передача может происходить как по Wi-Fi связи, так и Bluetooth. При перемещении автомобиля дрон автоматически регулирует свое положение относительно радиомаяка, соответственно на экране видны все действия автомобиля в реальном времени. При завершении парковки, дрон возвращается в док-станцию, где дозаряжается и ожидает следующего использования.

Но не всегда можно использовать такой вариант парковки, так при парковке под деревом или козырьком дрон не сможет набрать нужную высоту для передачи изображения всего автомобиля. Тогда можно использовать другой режим работы, который заключается в смене местоположения дрона относительно радиомаяка, который показан на рис. 2.

Рис. 2. Парковка при помощи дрона при наличии помехи

Здесь принцип действия точно такой же, отличается только местоположение дрона в пространстве, относительно радиомаяка.

Таким образом, метод парковки при помощи дрона дает массу преимуществ, таких как: легкая ориентация водителя в пространстве и полный обзор автомобиля; возможность использования для грузовых авто; объезд препятствий при малой ширине дороги.

Библиографический список

1. **Системы** помощи при парковке автомобиля [Электронный ресурс]. – URL : https://pddmaster.ru/avtomobili/sistemy-pomoschi-pri-parkovke-avtomobilya.html.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

Статья написана под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АККУМУЛЯТОРА ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЕГО РАЗРЯДА

И. А. Севцов, И. И. Кочегаров, А. С. Васильев, Р. Г. Нанеташвили, Н. С. Аброськин

Пензенский государственный университет

Литий-ионные аккумуляторы вошли в нашу жизнь вместе с сотовыми телефонами и мобильными устройствами. В быту для других автономных устройств до последнего времени литий-ионные аккумуляторы практически не использовались, основной источник питания таких устройств – никель-металлгидридные аккумуляторы привычных для нас размеров AAA, AA, C, D.

Сейчас их постепенно стали вытеснять аккумуляторы на основе лития, так как их преимущества в работе стали неоспоримы: очень низкий саморазряд, потери энергии минимальны при правильной эксплуатации; высокая плотность энергии, соответственно большая энергоемкость без увеличения размеров по сравнению с аналогичными никелевыми аккумуляторами; более высокое напряжение на выходе по сравнению с никель-кадмиевыми; уменьшении массы аккумулятора при сохранении габаритов; увеличенное количество циклов разряда-заряда при сохранении работоспособности; незначительное уменьшение работоспособности при потере энергоемкости после многочисленных циклов разряда-заряда; емкость литий-ионных аккумуляторов на единицу массы устанавливает на сегодняшний день абсолютный рекорд, никакие другие аккумуляторы среди широкодоступных не способны держать такой заряд при заранее установленной массе.

Учитывая эти преимущества, все большее число профессиональных пользователей переводит свои автономные приборы на цилиндрические литий-ионные аккумуляторы и сборки из них. При этом следует иметь в виду, что они достаточно прихотливы в хранении, обслуживании и эксплуатации. При нарушении условий использования очень быстро выходят из строя. Но при соблюдении всех правил служат долго с высокой производительностью. Основные ограничения:

- Минимальное напряжение для литий-ионных аккумуляторов не должно быть меньше 2,2…2,5 Вольт.
- Максимальное напряжение для литий-ионных аккумуляторов не должно быть больше 4,25…4,35 Вольт.
- Литий-ионные аккумуляторы неплохо работают при минусовой температуре, но при этом заряжать их на холоде нельзя, тем более если температура ниже нуля градусов.
- Ток заряда литий-ионных аккумуляторов должен быть не выше половины их емкости. Например, для аккумулятора 2000 мАч максимальный ток заряда должен быть 900…1000 мА.
- Ток разряда (рабочий) не должен быть выше 2-кратного значения емкости аккумулятора. Например, для аккумулятора емкостью 2000 мАч максимальный ток разряда 4000 мА.
- Исключения составляют высокомощные литий-ионные аккумуляторы, ток разряда которых может превышать их энергоемкость в 5 – 10 раз. Такие аккумуляторы маркируются соответствующей надписью.

Библиографический список

1. **Кочегаров, И. И.** Компьютерный комплекс исследования основных функций микроконтроллеров / И. И. Кочегаров, В. А. Трусов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2006. – Т. 1. – С. 192 – 194.
2. **Алгоритм** выявления латентных технологических дефектов фотошаблонов и печатных плат методом оптического допускового контроля / И. И. Кочегаров, И. В. Ханин, Н. К. Юрков, А. В. Григорьев // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 2. – С. 54.
3. **Гришко, А. К.** Синтез оптимальной структуры сети распределенных систем разнотипных радиоэлектронных средств / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, М. К. Танатов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – Т. 1. – С. 299 – 301.
4. **Программные** средства анализа и моделирования температурного режима печатных плат / Д. В. Воробьев, М. В. Иванкова, И. Д. Граб и др. // Современные информационные технологии. – 2014. – № 19. – С. 128 – 135.
5. **Белов, А. Г.** Программное обеспечение среды android для подготовки инженера-конструктора электронных средств / А. Г. Белов, И. И. Кочегаров // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 1. – С. 275 – 277.

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

И. С. Скварник

Дальневосточный Федеральный университет

Активное использование беспроводных сетей связи для автоматизированного сбора информации о воздушной обстановке на аэродромах гражданской и государственной авиации остро ставит вопрос о предъявлении требований к объему информации, передаваемой между территориально разнесенными объектами аэродрома в сети авиационной фиксированной электросвязи (АФЭС).

Сеть АФЭС аэродрома входит в комплекс управления воздушным движением и используется авиапредприятиями и органами управления воздушным движением для приема и передачи аэронавигационной и метеорологической информации, планов полетов, оперативной информации о движении ВС, взаимодействия с органами ВВС, передачи данных и прочей производственной информации.

Выбор оптимальных технологических решений для построения сети АФЭС аэродрома на основе оценки их соответствия предъявляемым требованиям является актуальной задачей повседневной деятельности службы по радиотехническому обеспечению полетов (РТОП) и оказывает существенное влияние на эффективность функционирования системы управления воздушным движением в целом.

Обоснование требований к производительности сети АФЭС осуществляется на основе анализа условий, необходимых для передачи речи, видео и данных по цифровым каналам связи.

Максимально возможная скорость передачи данных при передаче речевого сообщения может быть достигнута при условии обеспечения минимальной задержки речевого сообщения и составит 100 кбит/с.

Для каналов управления требуемая скорость передачи данных с учетом необходимости передачи служебной информации в составе *Ehternet* фрейма составит 15 кбит/с.

При использовании оборудования с аналоговым выходом (ТЧ) имеем модемный канал, скорость передачи в котором с учетом необходимости передачи служебной информации в составе *Ehternet* фрейма составит 53 кбит/с.

Скорость передачи данных в канале локальной вычислительной сети (ЛВС) сети АФЭС должна составлять не менее 2 мбит/с.

Для каналов пожарно-охранной сигнализации (ПОС) необходимой скоростью передачи данных с учетом необходимости передачи служебной информации в составе *Ehternet* фрейма является скорость 15 кбит/с.

При задании требований к скорости передачи данных канала система видеонаблюдения (СВ) в сетях АФЭС исходим из обеспечения максимальной скорости передачи данных согласно ГОСТ Р 51558–2014, которая составляет 10 мбит/с.

Для каналов передачи радиолокационной, радиопеленгационной и метеоинформации скорость передачи данных с учетом передачи служебной

информации составит 15 кбит/с. В случае наличия в РЛС аналогового выхода и использования модемной линии связи требуемая скорость передачи составит до 53 кбит/с.

Таким образом, с одного направления магнитного курса посадки требуемая производительность сети АФЭС аэродрома должна составить до 90 мбит/с. Требуемая производительность сети АФЭС со второго направления магнитного курса посадки должна составить до 50 мбит/с.

Учитывая целесообразность наличия дополнительного ресурса сети на ее расширение (до 30%) общая производительность сети АФЭС аэродрома должна составить до 180 мбит/с.

Проведенная оценка требуемой производительности сети АФЭС аэродрома позволяет осуществить выбор оптимальных технологий для ее эффективного функционирования.

Библиографический список

1. **ГОСТ Р 51558–2014.** Средства и системы охранные телевизионные. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2014. – 27 с.

2. **Сергеев, С. В.** Применение беспроводного широкополосного доступа для модернизации сетей авиационной фиксированной электросвязи / С. В. Сергеев, С. В. Скварник // Вестник авиации и космонавтики. – 2013. – № 2. – С. 34 – 38.

3. **Сергеев, С. В.** Формирование требований к применению технологии БШД для модернизации сетей авиационной фиксированной электросвязи / С. В. Сергеев, С. В. Скварник // Крылья Родины. – 2016. – № 3-4. – С. 90 – 93.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ В ТЕПЛОВОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. А. Сулеев, С. П. Москвитин

Тамбовский государственный технический университет

Типовая радиотелеметрическая система оснащается аналогово-цифровыми приборами, которые снимают значения измерений датчиков и преобразуют сигналы исходных величин в линейку цифровых импульсов для удаленного терминала входящего в состав системы. Удаленный терминал посредством двунаправленного модема формирует и отсылает в сторону центрального контролирующего устройства информационный пакет для последующей его обработки.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили несколько типов подобных систем, отличающихся некоторыми принципами работы. Одни используют передачу данных по радиоканалу в диапазоне 433, 443, 868 МГц, а другие основаны на использовании станций сотовой связи стандарта GSM [1 – 3] и беспроводные сети (Bluetooth, Wi-Fi и ZigBee) [4].

Передача данных по GSM-каналу вводит некоторые сложности при организации канала телеметрии. Здесь не требуется разработки новых решений, достаточно приобрести GSM-модем и SIM-карту. Но в отличие от прямой связи, необходимо заключение договора на услуги связи, на основании которого оператор будет требовать регулярной оплаты. Вторым негативным моментом становится зависимость качества связи от работы оператора. Сегодня не являются редкостью случаи перегрузки сети, отказа базовых станций сотовой связи и других негативных ситуаций. Также GSM-канал не предусматривает работу в длительном режиме [5].

Субгигагерцевые диапазоны обеспечивают ряд преимуществ в виде большей дальности, сниженного энергопотребления, меньшей стоимости для таких приложений как системы безопасности и сбора данных, низкоскоростные устройства промышленной телеметрии автоматизации. Примерное соотношение дальности связи и скорости передачи данных для различных беспроводных стандартов приведено на рис. 1.

Главными преимуществами связи радиоканалу становится полное отсутствие затрат на передачу информации и не требуется лицензия на использование частоты.

В Российской Федерации выделены два субгигагерцевых диапазона частот, где возможно безлицензионное применение радиопередающих устройств – 433 и 868 МГц [4].

Увеличенная дальность связи систем субгигагерцевого диапазона по сравнению с диапазоном 2,4 ГГц обусловлена несколькими факторами. В диапазонах 433 и 868 МГц можно использовать более узкую полосу приемника, что позволяет достигать значения чувствительности до –125 дБм, по сравнению с –102 дБм у микросхем 2,4 ГГц.

При прохождении через препятствия внутри зданий радиоволны субгигагерцевого диапазона ослабляются в меньшей степени, что особенно заметно в железобетонных зданиях. Даже на открытом пространстве затухание низкочастотного сигнала меньше, так как дальность распространения радиоволн прямо пропорциональна длине волны (обратно пропорциональна частоте сигнала).

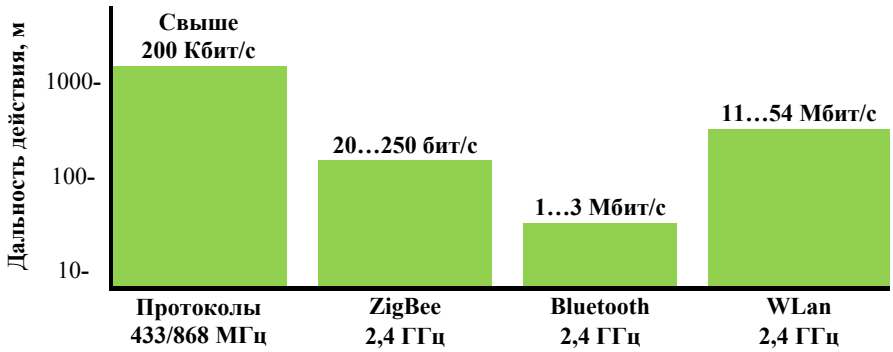


Рис. 1. Примерное соотношение дальности связи и скорости передачи данных для различных беспроводных стандартов

Любая беспроводная система представляет собой не только аппаратные средства, но и программное обеспечение, реализующее радиопротокол. В диапазоне 2,4 ГГц в основном используются стандартные стеки протоколов (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee), которые довольно сложны с программной точки зрения. Для их реализации требуется повышенный объем флэш-памяти микроконтроллера (МК) – от 1 МБ для Wi-Fi до десятков кБ для ZigBee. Проприетарные протоколы для субгигарцевого диапазона укладываются в единицы Кбайт, например, стек Silicon Labs EzMacPro. Кроме объема памяти стандартные протоколы требуют повышенной вычислительной мощности МК. Использование проприетарных протоколов во многих случаях оказывается более выгодным с точки зрения временных затрат на разработку.

Современная элементная база позволяет создавать малопотребляющие и недорогие субгигагерцевые решения для систем промышленной телеметрии и беспроводных систем сбора данных с различных датчиков, в том числе и с батарейным питанием. Широкая номенклатура микросхем и радиомодулей разной степени интеграции позволяет создавать устройства, оптимизированные для каждой конкретной задачи, а, следовательно, более совершенные в техническом плане и экономически более выгодные по сравнению с решениями на базе стандартных технологий диапазона 2,4 ГГц и GSM.

Библиографический список

1. **Кривченко, Т.** Радиомодули и радиомодемы компании One RF для диапазонов 433 и 868 МГц [Электронный ресурс] / Т. Кривченко // Беспроводные технологии. – 2007. – № 2. – URL : http://www.wireless-e.ru.
2. **Аникин, А.** Радиомодули и радиомодемы компании Telit для задач беспроводной телеметрии в частотном диапазоне 868 МГц [Электронный ресурс] / А. Аникин // Беспроводные технологии. – 2009. – № 2. – URL : http://www.wireless-e.ru.
3. **Пушкарев О.** Использование диапазонов 433 и 868 МГц в системах промышленной телеметрии [Электронный ресурс] // Электронные компоненты 2012. № 2. – URL : http://www.russianelectronics.ru.
4. **Гейер**, Джим Беспроводные сети. Первый шаг. – М. : Издательский дом «Вильяме», 2005. – 192 с.

ТРЕТИЧНАЯ ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ДАЛЬНОМЕРНОМ КАНАЛЕ

А. И. Сустин, А. И. Рогачев

Тамбовский государственный технический университет

Третичная обработка радиолокационной информации происходит при поступлении информации от двух радиолокационных станций в центр управления воздушным движением (рис. 1).

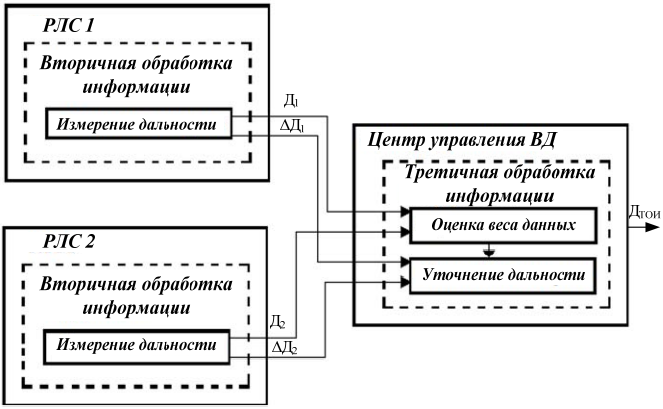


Рис. 1. Структурная схема системы дальномерного канала

От двух РЛС идет передача информации о дальности воздушного судна Д с коэффициентами невязки ΔД в центр управления воздушного движения. На основе этой информации формируется наиболее точная оценка дальности воздушного судна по алгоритму [1 – 3]

$$Д_{ТОИ} = \frac{b_1 Д_1 + b_2 Д_2}{b_1 + b_2}, \qquad (1)$$

где b_1 и b_2 – весовые коэффициенты СКО измерителей РЛС1 и РЛС2.

Весовые коэффициенты можно вычислить по формулам [4, 5]:

$$b_1 = \frac{1}{\Delta Д_1^2};\ b_2 = \frac{1}{\Delta Д_2^2}, \qquad (2)$$

где $\Delta Д_1$ и $\Delta Д_2$ – невязки дальности дальномерных каналов РЛС1 и РЛС2.

В качестве примера была разработана модель маневра «большая коробочка», где относительно двух РЛС измерялась дальность воздушного судна (рис. 2). Зависимость дальности воздушного судна от времени относительно РЛС 1 и РЛС 2 представлена на рис. 2.

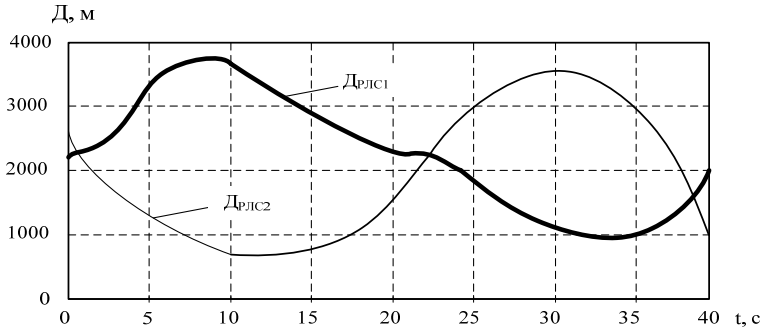


Рис. 2. Изменение дальности воздушного судна $Д_1$ и $Д_2$

Таким образом, линейные и нелинейные изменения азимута от времени влияют на величину СКО измерителей дальности. Учет весовых коэффициентов в зависимости от СКО позволяет получить оптимальную оценку информации о дальности воздушного судна.

Библиографический список

1. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.
6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

Статья написана под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

АВТОМОБИЛЬНЫЕ РАДАРЫ

Д. А. Сыщикова, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет

Разработка автоматических систем управления автомобилями требует наличия системы датчиков для наблюдения за окружающей обстановкой (радиолокационных (РД), инфракрасных и т.п.), а также обработки полученной от них информации (первичной и вторичной) [1, 2].

Хотя общее число датчиков обычно велико, в новых системах необходимо наличие действительно необходимых.

Выделяются следующие основные категории датчиков в зависимости от их дальности действия: сверхдальнего диапазона – до 500 м; дальнего диапазона – до 200 м; среднего диапазона – до 150 м; ближнего диапазона – до 80 м.

Снижение себестоимости радиолокационных датчиков позволяет широко использовать радарную технологию в процессе управления автомобилем для обнаружения объектов и слежения, для предупреждения фронтальных аварий. РЛ системы, работающие в диапазоне 76…77 ГГц, с радарами дальнего диапазона позволяют обнаруживать и распознавать объекты и определять расстояния в диапазоне 1…150 м с разрешением в 1 м, причем в общем случае могут быть оценены дальность, относительная скорость и азимутальный угол объекта-цели [3, 4].

Радары диапазона 11 ГГц имеют ширину апертуры антенны порядка 10°. Часто же необходимо расширить зону обзора до 360°.

Преимущества радаров перед оптическими, лазерными и тепловыми датчиками базируются на следующих особенностях: работа в любых погодных условиях; возможность одновременного измерения координат и параметров движения; высокая точность и надежность предоставляемой информации.

В качестве примера рассмотрим парковочный радар (ПР) – вспомогательную систему бесконтактных датчиков, устанавливаемую на автомобиль для облегчения маневрирования при парковке. В задачу ПР входит обязанность предупреждать водителя о приближающейся опасности, а также он указывает расстояние до препятствия. Главным устройством является электронный блок. Он отвечает за всю работу ПР, и он управляет работой всех систем парковочного устройства. В задачу электронного блока входит в том числе и и задача предупреждения о возможной неисправности ПР. За обнаружением препятствий следят РД. Они излучают радиоволны, и когда в зону их действия попадет посторонний предмет или препятствие, то они подают сигнал на электронный блок. Тот, в свою очередь, оценив расстояние до препятствия, и сообщает об этом водителю.

В зависимости от конструкции ПР, он может обладать разных числом датчиков. Их количество может составлять от двух до восьми штук. ПР с двумя датчиками являются самыми дешевыми. Недостаток всего лишь один – они могут просто не увидеть некоторые предметы малой толщины в зоне действия. ПР с тремя или четырьмя датчиками данным является оптимальным по соотношению цена-качество. При наличии четырех датчиков обнаружения препятствия исключается образование «мертвой зоны». Количество датчиков зависит лишь от конструктивных особенностей автомобиля.

Анализ показывает, что радиолокационные датчики построенные на основе сигналов с линейной частотной модуляцией обладают наилучшими возможностями. Возможна реализация нескольких подходов, от простых до более сложных, при которых датчик будет обладать разными ТТХ.

Для обеспечения разрешающей способности по угловым координатам можно использовать цифровую многоканальную антенную решетку (в азимутальной плоскости). Обработка радиолокационных данных производится в цифровом виде и может быть выполнена с использованием методов сверхразрешения, в разы увеличивающих разрешение по углу и дальности по сравнению с обычным цифровым сканированием пространства.

Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
3. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
4. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛИННЫХ ВОЛН В РАДИОТЕХНИКЕ

И. Н. Фетисов

Тамбовский государственный технический университет

Радиоволна – электромагнитное излучение, которое распространяется в пространстве с особой частотой. Слово «радио» произошло от латинского – луч. Одна из характеристик радиоволн – частота колебаний, которая измеряется в Герцах. Так она названа в честь немецкого ученого, физика Генриха Герца. Он получил электромагнитные волны и исследовал их свойства. Колебания волны и ее частота связаны друг с другом. Чем выше последняя, тем короче колебания.

Радиоволны обладают интересными особенностями:

– если радиоволна распространяется в среде, отличающейся от воздуха, то она поглощает энергию;

– траектория волны искривляется, если она находится в неоднородной среде и называется рефракцией радиоволны;

– в однородной сфере радиоволны распространяются прямолинейно со скоростью, зависящей от параметров среды, и сопровождаются убыванием плотности потока энергии с увеличением расстояния;

– когда радиоволны переходят с одной среды в другую, они отражаются и преломляются;

– дифракцией называется свойство радиоволны огибать препятствие, которое встречается на их пути, но здесь есть одно необходимое условие – величина препятствия должна быть соизмерима с длиной волны.

Радиоволны делятся на три категории: короткие, средние и длинные. К первым относят волны с длиной от 10 до 100 м, что позволяет создавать направленные антенны. Они могут быть земными и ионосферными. Применение коротким радиоволнам нашлось в связи и вещании на большие расстояния.

Длинные волны имеют длину волны от 30 000 до 3000 м и соответственно частоту от 10 до 100 кГц. В начале своего развития радиосвязь велась почти исключительно на таких волнах. Но для связи на большие расстояния при помощи этих волн нужны передатчики огромной мощности. Кроме того, в диапазоне длинных волн невозможна одновременная работа большого числа радиостанций. Дело в том, что для устранения взаимных помех при радиовещательной передаче необходимо каждой радиостанции отвести участок (полосу) частот примерно в 9 кГц. Нетрудно подсчитать, что в диапазоне длинных волн можно разместить без помех друг другу лишь 10 станций. Единственным достоинством длинных волн является то, что дальность их действия в течение дня и ночи, лета и зимы меняется мало. Такого постоянства у других радиоволн нет. Сейчас на длинных волнах работает небольшое число радиостанций, передающих сигналы точного времени и метеорологические сводки. Длинные волны хорошо огибают землю, и прием их на обычный радиовещательный приемник может быть произведен на расстоянии одной-двух тысяч километров от радиостанции.

Преимущества длинных волн: радиоволны обладают свойством проникать в толщу воды, а также распространяться в некоторых структурах почвы; за счет волн, распространяющихся в сферическом волноводе Земли, обеспечивается связь на тысячи километров; дальность связи мало зависит от ионосферных возмущений; хорошие дифракционные свойства радиоволн этих диапазонов позволяют обеспечивать связь на сотни и даже тысячи километров земной волной; постоянство параметров радиолинии обеспечивает стабильный уровень сигнала в точке приема.

Недостатки: эффективное излучение волн рассматриваемых участков диапазона может достигаться лишь с помощью весьма громоздких антенных устройств, размеры которых соизмеримы с длиной волны. Строительство и восстановление антенных устройств таких размеров в ограниченное время (в военных целях) затруднительно; поскольку размеры реально выполняемых антенн меньше длины волны, то компенсация пониженной их эффективности достигается увеличением мощности передатчиков до сотен и более кВт; создание резонансных систем в этом диапазоне и при значительных мощностях определяет большие размеры выходных каскадов: передатчиков, сложность быстрой перестройки на другую частоту; для электропитания радио-

станций требуются большие мощности электростанций; существенным недостатком является их небольшая частотная емкость; достаточно большой уровень промышленных и атмосферных помех; зависимость уровня сигнала в точке приема от времени суток.

Таким образом, длинные волны используют в радиовещании, дальней связи, системах радионавигации, они являются одним из средств изучения параметров нижней ионосферы.

Библиографический список

1. **Распространение** длинных волн [Электронный ресурс]. – URL : https:// http://kunegin.com/ref/radio/index1.htm.
2. **Пудовкин, А. П.** Распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Электромагнитные поля: учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 96 с.
4. **Пудовкин, А. П.** Основы теории антенн : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.

АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО-РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ИМЕЮЩЕГО ТРИ ПОЗИТИВНЫЕ И ВЕРШИННУЮ СВЯЗИ

М. В. Фомин, А. В. Григорьев, С. Ш. Ермекбаев, О. В. Москвитина, И. Ю. Наумова

Пензенский государственный университет

В предлагаемой статье представлен способ распознавания элементов вибрационно-размытых изображений, имеющих три позитивных и одну вершинную связи. Анализ такого элемента изложен в статье. Этот анализ необходим для классификации элементов вибрационно-размытого изображения с целью их классификации и проблемно ориентированной сегментации.

В статьях [1 – 4] изложена техническая сущность различных версий технологии векторного измерения вибрационных перемещений материальных точек поверхности объекта контроля, в основу которой положен анализ вибрационного размытия изображения круглой метки. Эти версии включают измерение возвратно-поступательных перемещений метки круглой формы, нанесенной на поверхность объекта контроля.

Дальнейшее развитие методологических основ данной технологии предполагает переход от бинаризации полутонового изображения круглой метки к его сегментации с последующей обработкой полученных сегментов. Один из возможных вариантов такой сегментации называется структурно-разностным. Его сущность изложена в статье [5].

Представляет интерес следующая ситуация (табл. 1).

1. Структурно-разностное описание пикселя

c	$p_{i,j,c}$	$p_{i,j,c+4}$	Пара направлений
1	0	2	Позитивная
2	2	0	Позитивная
3	0	2	Позитивная
4	2	2	Вершинная

Наивысшим приоритетом в данной структурной последовательности обладает позитивная пара направлений. Таким образом, данный элемент следует отнести к позитивным.

Графически это описание интерпретируется следующим образом (рис. 1).

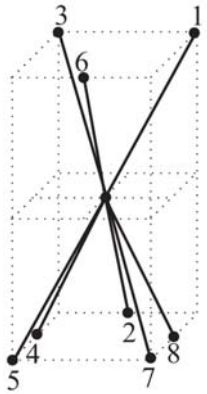


Рис. 1. Графическая интерпретация структурно-разностного описания элемента

Библиографический список

1. **Grigoriev, A. V.**, Danilova E. A., Yurkov N. K. Method of Measuring Vibration Movements of Material Points on the Surface of the Controlled Object. 2015 Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM. – 2017. – V. 2. – P. 203 – 207.

2. **Структурное** описание размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Г. Ж. Надырбеков, А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров и др. // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2017. – Т. 2. – С. 11 – 13.

3. **Анализ** размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Д. Х. Нуржанов, А. В. Григорьев, В. А. Трусов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2017. – Т. 2. – С. 14 – 16.

4. **Гришко А. К.** Синтез оптимальной структуры сети распределенных систем разнотипных радиоэлектронных средств / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, М. К. Танатов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – Т. 1. – С. 299 – 301.

5. **Принцип** негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / А. В. Григорьев, А. Л. Джевецкий, В. Я. Баннов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 2. – С. 21 – 24.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОПРОНИКНОВЕНИЯ ДВУХ НЕГАТИВНО-КОНТУРНЫХ, ВЕРШИННОЙ И ПОЗИТИВНОЙ СТРУКТУР НА ГРАНИЦЕ СЕГМЕНТА ВИБРАЦИОННО-РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

К. А. Чувашлев, А. В. Григорьев, Д. Х. Нуржанов, М. О. Синицын, Е. А. Данилова

Пензенский государственный университет

Современная виброметрия – это векторная виброметрия. Существует разница между трехкомпонентным и векторным подходом к измерению вибраций. Если, например, поставить три контактных акселерометра, ориентированных в направлении координатных осей, то такая измерительная конфигурация будет отслеживать проекции, в общем-то, разных векторов вибрационного перемещения. На объектах контроля распространяются акустические вибрационные волны, поэтому точки, расположенные даже рядом, перемещаются в разных фазах.

В статьях [1 – 4] изложена техническая сущность различных вариантов технологии векторного измерения вибрационных перемещений материальных точек поверхности объекта контроля, включающей измерение возвратно-поступательных перемещений метки круглой формы, нанесенной на поверхность объекта контроля. В основу технологии положен анализ размытия изображения круглой метки.

Дальнейшее развитие данной технологии предполагает переход от бинаризации полутонового изображения круглой метки к его сегментации. Сущность такой сегментации изложена в статье [5].

Представляет интерес следующая ситуация (табл. 1).

Наивысшим приоритетом в данной структурной последовательности обладает негативно-контурная пара направлений. Таким образом, данный элемент следует отнести к негативно-контурным.

Графически это описание интерпретируется следующим образом (рис. 1).

1. Структурно-разностное описание пикселя

c	$p_{i,j,c}$	$p_{i,j,c+4}$	Пара направлений
1	0	1	Негативно-контурная
2	2	2	Вершинная
3	1	0	Негативно-контурная
4	2	0	Позитивная

Библиографический список

1. **Grigoriev, A. V.**, Danilova E. A., Yurkov N. K. Method of Measuring Vibration Movements of Material Points on the Surface of the Controlled Object. 2015 Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM. – 2017. – V. 2. – P. 203 – 207.

2. **Структурное** описание размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Г. Ж. Надырбеков, А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров и др. // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2017. – Т. 2. – С. 11 – 13.

3. **Анализ** размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Д. Х. Нуржанов, А. В. Григорьев, В. А. Трусов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2017. – Т. 2. – С. 14 – 16.

4. **Гришко А. К.** Синтез оптимальной структуры сети распределенных систем разнотипных радиоэлектронных средств / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, М. К. Танатов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – Т. 1. – С. 299 – 301.

5. **Принцип** негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / А. В. Григорьев, А. Л. Джевецкий, В. Я. Баннов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 2. – С. 21 – 24.

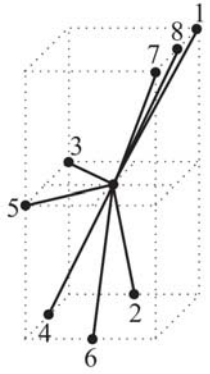


Рис. 1. Графическая интерпретация структурно-разностного описания элемента

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

О. Н. Чурилин

Тамбовский государственный технический университет

Рост объема данных, передаваемых в мобильных сетях, и необходимость организации широкополосного доступа в сетях 4-5G в условиях ограниченности частотного ресурса требуют развития новых методов передачи данных, позволяющих повысить эффективность использования спектра. Спектральный ресурс ограничен, и найти необходимые частоты в традиционных для мобильной связи диапазонах крайне трудно [1]. Задача технической реализации OFDM осуществляется при помощи цифровых методов обработки сигналов.

При использовании таких методов модуляции возникает серьезная проблема с линейным усилением модулированного сигнала, который сильно меняется по амплитуде. Для исследования этого явления была создана цифровая модель [2], на основе которой получены количественные характеристики метода, в частности пик-фактор сигнала.

В качестве метода борьбы с увеличенным значением пик-фактора был выбран метод предыскажения. Были исследованы различные функции предыскажения и в результате было установлено, что при кусочно-линейном сжатии и достаточном соотношении сигнал/шум коэффициент ошибок модуляции (MER) не велик [3].

Основная идея функциональной схемы передатчика (рис. 1) заключается в том, что любая устойчивая схема автоматического регулирования стремится уравнять воздействия на входах разностного элемента, в данном случае уравнять исходный модулирующий сигнал $w(t)$ и сигнал обратной связи $w'(t)$, который получается как демодулированный сигнал мощного выходного высокочастотного колебания передатчика.

Для разработки передатчика была создана математическая модель такого устройства. Исследование показало, что при усилении сигнала с остаточным пик-фактором (после предыскажения) в нелинейном усилителе мощности с отсечкой порядка 90°, сигнал в приемнике восстанавливается с ошибкой не более 10%.

Значение сигнала обратной связи $w'(t)$ в мощном ВЧ выходном каскаде передатчика совпадает с усиливаемым сигналом $w(t)$ при достаточно высоком коэффициенте усиления усилителя мощности. Контроль величины девиации в петле обратной связи позволяет компенсировать нелинейность усилителя мощности, т.е. повысить его реальный КПД (рис. 2, 3). Для модуляции на входе OFDM модулятора (64QAM), был выбран оптимальный угол поворота фазового созвездия в 8,6°, дающий улучшение по сравнению с неповернутым созвездием в соотношении сигнал-шум [8]. Применением предыскажения (клиппирования) с низким порогом можно добиться получения практически любого заданного значения пик-фактора сигнала, однако, только за счет увеличения степени искажений сигнала. Но как показало моделирование, применение передатчика с петлей обратной связи устраняет искажения сигнала.

Рис. 1. Передатчик с модуляцией в петле обратной связи

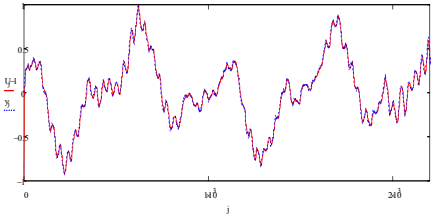


Рис. 2. Исходный идеальный модулирующий *w*(*t*) и реальный модулирующий *w*′(*t*) сигналы

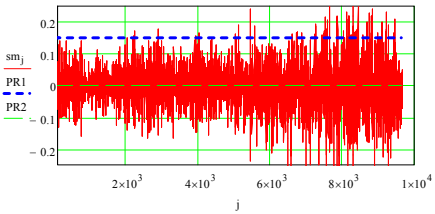


Рис. 3. Вывод сигнала на входе нелинейного усиления

Библиографический список

1. **Данилов, С. Н.** Цифровое телевидение стандарта DVB-T2 [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / С. Н. Данилов, С. П. Москвитин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 146 с.
2. **Свид.** о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017663677 «Модель обработки сигнала с ортогональным частотным разделением каналов» / Данилов, С. Н., Чурилин О. Н. – Тамбов, 2017.
3. **Churilin, O. N.** Decreasing Energy Costs of the OFDM-transmitter / O. N. Churilin, S. N. Danilov // Мир науки без границ : матер. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Тамбов, 2017.

Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора С. Н. Данилова

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

П. В. Шпикин

Тамбовский государственный технический университет

Алгоритмы функционирования угломерного канала зависят от модели состояния и наблюдения. Модель состояния отображают три взаимосвязанных параметра: угол, угловая скорость, угловое ускорение и имеет вид [1 – 3]:

$$\varphi(k) = \varphi(k-1) + \omega(k-1)T + 0{,}5\beta(k-1)T^2; \quad (1)$$

$$\varphi(k) = \omega(k-1)T + \beta(k-1)T; \quad (2)$$

$$\beta(k) = (1-\alpha_{\text{ф}}T)\beta(k-1) + \xi_a(k-1); \quad (3)$$

$$\varphi_{\text{и}}(k) = \varphi(k) + \xi_{\text{и}}(k). \quad (4)$$

На основании модели состояния (1) – (4), модели наблюдения (4) получим алгоритм фильтрации для оценивания сопровождаемого угла и угловой скорости [3 – 6]:

$$\varphi_0(k+1) = \varphi_э(k+1) + K_ф \Delta\varphi(k+1); \quad (4)$$

$$\varphi_0(k+1) = \varphi_э(k+1) + K_ф \Delta\omega(k+1); \quad (5)$$

$$\beta_0(k+1) = \beta_э(k+1) + K_ф \Delta\beta(k+1); \quad (6)$$

$$\varphi_э(k+1) = \varphi_0(k) + \varphi_0(k)\tau + \beta_0(k)\tau^2/2; \quad (7)$$

$$\varphi_э(k+1) = \varphi_0(k) + \beta_0(k)\tau; \quad (8)$$

$$\beta_э(k+1) = \beta_0(k); \quad (9)$$

$$\Delta\varphi(k+1) = \varphi_и(k+1) - \varphi_э(k+1). \quad (10)$$

С помощью алгоритма фильтрации на основе формул (4 – 10) было произведено моделирование сигнала, принимаемого угломерным каналом радиолокационной станции. Результаты моделирования представлены на графиках рис. 1 и 2. На первом графике изображено изменение истинного значения угла азимута *а* и смоделированного изменения оценки угла азимута *б*. На втором – зависимость потенциальной и реальной средней квадратической ошибки (СКО) угла азимута от времени.

Сравнивая истинное значение угла азимута с оценочным (рис. 1), можно сделать вывод, что разница между этими значениями является незначительной относительно ширины взлетно-посадочной полосы и геометрических размеров самолета, и является следствием влияния внешних факторов.

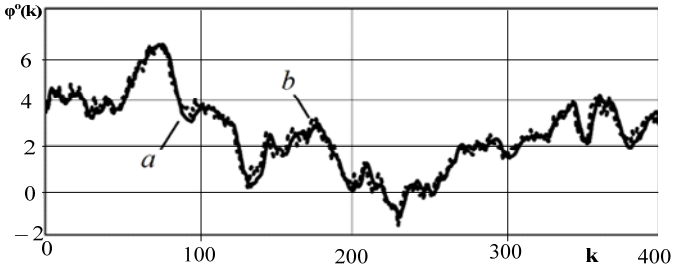


Рис. 1. Изменение во времени истинного и оценки угла азимута *а* и *b*

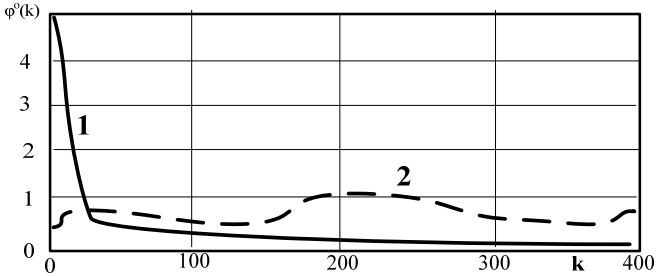


Рис. 2. Изменение потенциальной *1* и реальной *2* СКО угла азимута

Сравнивая полученные реальные СКО с потенциальными СКО (рис. 2), можно заметить, что реальные ошибки оценивания угла азимута отличаются от потенциальных. Это связано с тем, что модель состояния не соответствует условиям изменения параметров движения воздушного судна.

Библиографический список

1. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 595–596.
4. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
5. **Данилов, С. Н.** Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.
6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента Ю. Н. Панасюка

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТРАЖЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

С. А. Бростилов, Т. Ю. Бростилова, А. О. Бекбаулиев, А. П. Мосеев, В. Я. Баннов

Пензенский государственный университет

Как известно, полное внутреннее отражение (ПВО) при переходе света через границу из оптически более плотной в менее плотную среду является фундаментальным явлением волновой физики. Эффект ПВО был с успехом применен во многих прикладных областях оптики, однако, подробное теоретическое исследование на основе электромагнитной теории света было проведено лишь в начале прошлого века. Квинке осуществил опыт со световыми волнами и двумя стеклянными призмами, через воздушный зазор между которыми свет частично проникал из первой призмы во вторую и распространялся дальше в ней по обычным законам. Эффект проникновения света через непрозрачный барьер (воздушный зазор) позже был назван нарушением полного внутреннего отражения (НПВО). Возникновение и развитие оптоволоконных средств передачи светового сигнала, а также нелинейной оптики сделали явление ПВО еще более мощным и гибким инструментом, и стимулировало более глубокое изучение распространения волн в сильно и слабо неоднородных средах, в частности, в средах с индуцированной неоднородностью.

В сочетании с развитием нанотехнологии тонких градиентных пленок появилась возможность экспериментального исследования и практического применения градиентных диэлектрических пленок. В связи с этим становятся актуальными разработки новых приборов и датчиков с применением градиентных материалов, принцип действия которых основан на эффектах ПВО и НПВО.

Для упрощения выкладок будем рассматривать монохроматическую электромагнитную волну без учета ее поляризации с использованием вспомогательной функции Ψ. В этом случае необходимо применение электромагнитной теории Максвелла, которая приводит к следующему волновому уравнению в декартовой системе

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\Psi}{\partial z^2}-\frac{n^2(z)}{c^2}\frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2}=0,$$

и в общем случае

$$\Delta\Psi-\frac{n^2(z)}{c^2}\frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2}=0.$$

В силу геометрии задачи (так как $n = n(z)$) получаем решение в виде обыкновенного дифференциального уравнения вида с краевыми условиями, определяемыми исходя из поляризации волны.

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} + \left(\frac{n^2(z)\omega^2}{c^2} - k_y^2 \right) \Psi = 0.$$

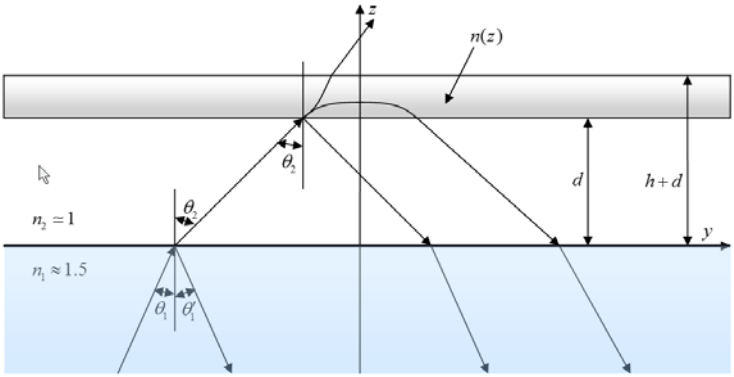


Рис. 1. Модель распространения электромагнитных волн

Библиографический список

1. **Ландсберг, Г. С.** Оптика : учебное пособие / Г. С. Ландсберг. – 6-е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с.
2. **Эйхенвальд, А. А.** Избранные работы / А. А. Эйхенвальд ; под ред. А. Б. Млодзеевского. – М. : Гос. изд-во тех.-теор. литературы, 1956. – 267 с.
3. **Сухоруков, А. П.** Полное отражение оптических волн в средах с индуцированной неоднородностью / А. П. Сухоруков // Уч. зап. каз. гос. ун-та. – 2009. – Т. 151, кн. 1. – С. 189 – 196.
4. **Шварцбург, А. Б.** Туннелирование электромагнитных волн – парадоксы и перспективы / А. Б. Шварцбург // Усп. физ. наук. – 2007. – Т. 177. – С. 43 – 58.
5. **Вольпян, О. Д.** Применение импульсного магнетронного распыления для получения оптических метапокрытий с продольным наноградиентом показателя преломления / О.Д. Вольпян, А. И. Кузьмичев // Электроника и связь, тематич. выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2007. – № 2(55) – С. 28 – 33.
6. **Шварцбург, А. Б.** Нанооптика градиентных диэлектрических пленок / А. Б. Шварцбург, М. Б. Агранат, О. В. Чефонов // Квантовая электроника. – 2009. – Т. 39, № 10. – С. 948 – 952.
7. **Кравцов, Ю. А.** Геометрическая оптика неоднородных сред / Ю. А. Кравцов, Ю. И. Орлов. – М. : Наука, 1980. – 304 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LORA В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ RADIO MOBILE

И. П. Бугримов, А. А. Герасименко

Дальневосточный федеральный университет

В настоящее время для мониторинга и автоматизации процессов и производств используются всевозможные методы сбора и обработки информации, например, сенсорные сети. Использование современных беспроводных технологий и подключение к сети Интернет упрощает масштабирование и расширяет возможности автоматизации других систем. Как правило в условиях сложного рельефа трудно добиться качественной связи между устройствами, технология LoRa направлена на решение этой проблемы.

Уникальная возможность технологии LoRa – при мощности излучения трансиверов 25 мВт обеспечивать прием сигнала слабее собственных шумов приемника с чувствительностью до –149 дБ, а также устойчива к различным видам помех. Что позволяет использовать ее в условиях города или сложного рельефа местности. Моделирование распространения радиосигнала трансиверов LoRa сенсорной сети в условиях сложного рельефа острова Русский будем проводить с помощью программного обеспечения Radio Mobile. Данное ПО позволяет рассчитать распространение радиоволн с учетом неровностей рельефа и растительности по методу Лонли–Райса.

Параметры моделируемой сети изображены на рис. 1. В качестве антенны используется полуволновый вибратор. Программное обеспечение позволяет найти наилучшую область приема сигнала оконечных устройств сети исходя из условий распространения сигнала передатчиков. Позволяет рассчитать радиоканал каждого из трансиверов до любого другого, что подразумевает в таком случае использование распределенных топологий сети.

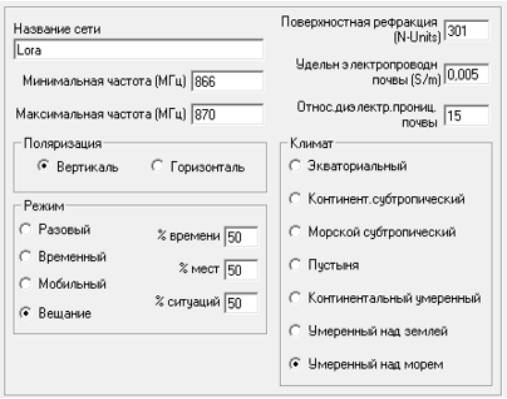


Рис. 1. Параметры сети LoRa

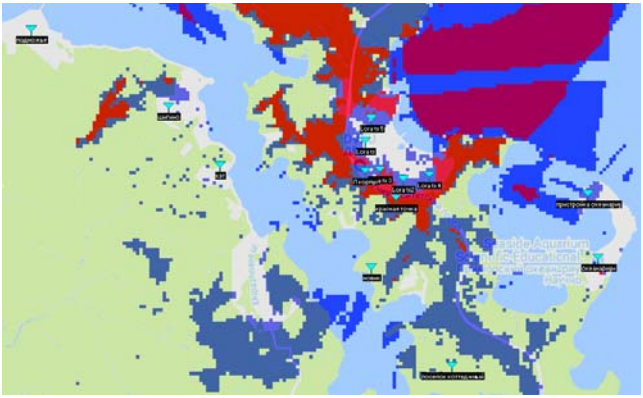


Рис. 2. Отображение наилучших областей для приема сигнала от оконечных устройств:
синяя область – удовлетворительный сигнал; красная – устойчивый сигнал

Таким образом программное обеспечение Radio Mobile можно использовать для создания карт, зон радио охвата, расчета линий связи, а также для моделирования различных сенсорных сетей.

Библиографический список

1. **Верхулевский, К.** Технология LoRa компании Semtech: новый импульс развития «Интернета вещей» / К. Верхулевский // Беспроводные технологии. – 2015. – № 3. – С. 42 – 48.

Работа выполнена под руководством кандидата географических наук, доцента А. Ф. Ломакина

КОГНИТИВНО-ГРАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ МНОГОМЕРНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

А. О. Гаврилов

Тамбовский государственный технический университет

При проектировании и разработке алгоритмического обеспечения помехоустойчивых информационно-управляющих систем (ИУС) сложными многомерными объектами, как правило, большое внимание уделяется практическим аспектам анализа задач оптимального управления (ЗОУ) при наличии случайных возмущений, действующих в каналах управления и измерения. На практике, задачи повышения помехоустойчивости обычно решают на этапе синтеза управляющих воздействий, например, за счет применения известных алгоритмов оптимальной фильтрации шумов, однако и на этапе анализа

ЗОУ необходимо учитывать влияние случайных возмущений, поскольку на данном этапе оценивается принципиальная возможность существования решения ЗОУ для заданных исходных данных.

Одним из известных и эффективных подходов к анализу ЗОУ является применение методов, основанных на совместном использовании принципа максимума Л. С. Понтрягина, метода синтезирующих переменных и методов когнитивной графики. При таком подходе возможные виды функций оптимального управления определяются при помощи принципа максимума Л. С. Понтрягина. Метод синтезирующих переменных используется для определения условий существования решения ЗОУ и соотношений для расчета параметров функций оптимального управления, а методы когнитивной графики позволяют визуализировать процесс анализа ЗОУ и получить наглядное представление об области существования решения ЗОУ и границах областей, относящихся к различным видам функций оптимального управления [1].

Практическое исследование области существования решения ЗОУ возможно с использованием аналитико-графического метода [2], который позволяет непосредственно по значениям компонентов массива исходных данных задачи осуществить оценку возможности существования решения ЗОУ при наличии случайных возмущений.

Следует отметить, что исследование области существования решения ЗОУ применительно к многомерным объектам, описываемых моделями высоких порядков (третьего и выше) является достаточно трудоемкой задачей. Это связано с тем, что область существования решения ЗОУ приходится строить в многомерном пространстве при помощи методов когнитивной графики, так как размерность вектора синтезирующих переменных зависит от размерности вектора фазовых координат. При этом, для определения условий существования решения ЗОУ приходится анализировать большое количество сечений, в большинстве случаев представляющих собой нелинейные кривые на плоскости синтезирующих переменных [2].

Описанный подход нашел успешное применение при разработке алгоритмического обеспечения ИУС динамическими режимами теплотехнологических аппаратов (вальце-ленточных и барабанных сушильных установок [3, 4]).

Библиографический список

1. **Когнитивно-графический** анализ задач энергосберегающего управления в интеллектуальных информационно-управляющих системах многомерными технологическими объектами / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев, Д. В. Калашников, Р. О. Дементьев // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : матер. Всерос. заочн. науч.-практ. конф. – Тамбов.: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017 – С. 464 – 468.

2. **Грибков, А. Н.** Аналитико-графический метод исследования области существования решения задачи оптимального управления многомерным объектом / А. Н. Грибков, И. А. Куркин // Информатика и системы управления. – 2011. – № 3(29). – С. 141 – 152.

3. **Грибков, А. Н.** Информационно-управляющая система динамическими режимами в многосекционных сушильных установках / А. Н. Грибков // Информатика и системы управления. – 2009. – № 2(20). – С. 123 – 129.

4. **Грибков, А. Н.** Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика: монография / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.

Работа выполнена под руководством доктора технических наук, доцента А. Н. Грибкова, при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-08-00555-а

АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО-РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ИМЕЮЩЕГО ДВЕ НИЗИННЫЕ, ПОЗИТИВНУЮ И ПОЗИТИВНО-КОНТУРНУЮ СВЯЗИ

Н. Ю. Дружинин, А. В. Григорьев, Б. Б. Каражанов, Л. А. Тюрина, Р. С. Фильчиков

Пензенский государственный университет

В настоящее время стремительно развивается новая технология измерения векторного измерения вибраций. Сущность этой технологии заключается в том, что на поверхность объекта контроля наносится метка круглой формы. Компоненты и модуль вектора вибрационного перемещения вычисляются на основе сравнения геометрий изображения этой метки при отсутствии и при наличии вибрации.

В статьях [1 – 4] изложена техническая сущность различных версий этой технологии векторного измерения вибрационных перемещений материальных точек поверхности объекта контроля, включающей измерение возвратно-поступательных перемещений меток круглой формы, нанесенной на поверхность объекта контроля.

Дальнейшее развитие методологических основ данной технологии предполагает переход от бинаризации полутонового изображения круглой метки к его сегментации с последующей обработкой полученных сегментов. Один из возможных вариантов такой сегментации называется структурно-разностным. Его сущность изложена в статье [5].

Представляет интерес следующая ситуация (табл. 1).

1. Структурно-разностное описание пикселя

c	$p_{i,j,c}$	$p_{i,j,c+4}$	Пара направлений
1	0	0	Низинная
2	0	2	Позитивная
3	1	2	Позитивно-контурная
4	0	0	Низинная

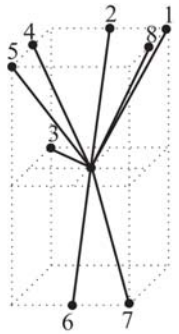


Рис. 1. Графическая интерпретация структурно-разностного описания элемента

Наивысшим приоритетом в данной структурной последовательности обладает позитивная пара направлений. Таким образом, данный элемент следует отнести к позитивным.

Графически это описание интерпретируется следующим образом (рис. 1).

Библиографический список

1. **Grigoriev, A. V.**, Danilova E. A., Yurkov N. K. Method of Measuring Vibration Movements of Material Points on the Surface of the Controlled Object. 2015 Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM. – 2017. – V. 2. – P. 203 – 207.

2. **Структурное** описание размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Г. Ж. Надырбеков, А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров и др. // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2017. – Т. 2. – С. 11 – 13.

3. **Анализ** размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Д. Х. Нуржанов, А. В. Григорьев, В. А. Трусов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2017. – Т. 2. – С. 14 – 16.

4. **Гришко А. К.** Синтез оптимальной структуры сети распределенных систем разнотипных радиоэлектронных средств / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, М. К. Танатов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – Т. 1. – С. 299 – 301.

Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / А. В. Григорьев, А. Л. Джевецкий, В. Я. Баннов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 2. – С. 21 – 24.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ЦИФРОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

К. В. Жихарев, И. И. Кочегаров, Н. С. Реута, Д. Х. Нуржанов, Э. В. Крестин

Пензенский государственный университет

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – системы, основанные на внедрении механических составляющих в микроэлектронные изделия. В основу функционирования таких систем положены различные физические принципы, такие как эффект Холла, закон Гука, пьезоэлектрический эффект и т.п. Несмотря на кажущиеся принципиальные отличия от обыкновенных однокристальных интегральных микросхем, методы их изготовления аналогичны – технологии микрообработки, включающие в себя литографию, травление т.д.

Некоторый выигрыш в точности определения положения устройства дает совместное использование трехосевых гироскопа и акселерометра. По отдельности эти устройства имеют «слабые места». К примеру, стоит задача определения наклона устройства относительно земли. При использовании только лишь гироскопа появляется риск накопить погрешность измерений скорости вращения. (На этом моменте необходимо сделать небольшое отступление и сообщить, что под гироскопом мы понимаем устройство, которое чувствительно к вращению, а не классический роторный гироскоп, способный сохранять неизменное положение оси вращения.) В случае использования только лишь акселерометра может получиться следующее: при воздействии внешних сил на устройство, равнодействующая сил может не совпасть с направлением действия силы тяжести, что может быть интерпретировано как наклон, хотя устройство не вращалось. Совместная обработка данных гироскопа и акселерометра спасает от подобных проблем. Для производителей интегральных схем давно опробовано решение объединения акселерометра и гироскопа в так называемые «шестиосевые датчики». Также распространены случаи, когда к акселерометру и гироскопу добавляют магнетометр – компас. Это решение позволяет точнее определять положение устройства в пространстве, а именно – относительно линий напряженности магнитного поля земли.

Рынок предлагает значительную номенклатуру датчиков движения, которые нередко качественно и количественно различаются своими параметрами. Далее выделены некоторые параметры датчиков движения, на которые стоит обратить внимание при подборе необходимого решения:

– потребление тока;
– тип выходного сигнала;
– чувствительность датчика;
– выходное разрешение;
– степень нелинейности выходного параметра от измеряемой величины;
– степень отклонения осей датчика от строго перпендикулярного положения;
– коэффициент влияния температуры на отклонение нуля в показаниях датчика;
– стоимость.

Библиографический список

1. **Кочегаров, И. И.** Компьютерный комплекс исследования основных функций микроконтроллеров / И. И. Кочегаров, В. А. Трусов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2006. – Т. 1. – С. 192 – 194.
2. **Программные** средства анализа и моделирования температурного режима печатных плат / Д. В. Воробьев, М. В. Иванкова, И. Д. Граб и др. // Современные информационные технологии. – 2014. – № 19. – С. 128 – 135.
3. **Гришко, А. К.** Синтез оптимальной структуры сети распределенных систем разнотипных радиоэлектронных средств / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, М. К. Танатов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – Т. 1. – С. 299 – 301.

4. **Белов, А. Г.** Программное обеспечение среды Android для подготовки инженера-конструктора электронных средств / А. Г. Белов, И. И. Кочегаров // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 1. – С. 275 – 277.

5. **Алгоритм** выявления латентных технологических дефектов фотошаблонов и печатных плат методом оптического допускового контроля / И. И. Кочегаров, И. В. Ханин, Н. К. Юрков, А. В. Григорьев // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 2. – С. 54.

МЕТОД БЕСКОНТАКТНОГО МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННОГО НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

С. В. Жуков

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева

Главным узлом, обеспечивающим как подъемную силу, так и полетные качества вертолета является несущий винт. Именно недостаток информации о рабочем состояния несущего винта часто приводит к авиационным происшествиям и катастрофам, пример такого происшествия представлен на рис. 1.

Анализ научно-технической литературы показывает, что среди разнообразных методов и средств контроля деформационного состояния лопастей несущего винта вертолета, в настоящее время наиболее перспективным является дискретно-фазовый метод, основанный на облучении зондирующим СВЧ-сигналом объекта исследования [1, 2]. Метод заключается в приеме и обработке отраженного информационного потока излучения, модулирующим элементом для которого служат сами лопасти несущего винта. Антенно-фидерная система (АФС) устройства контроля устанавливается на хвостовой балке, как показано на рис. 2.

Устройство позволяет судить о частоте вращения винта, целостности крепления лопасти и силового элемента лопасти – лонжерона, амплитуде махового колебания, угле скручивания лопасти, кроме этого анализ сигнала позволяет выявить и контролировать низкочастотные изгибно-крутильные колебания лопастей.

Рис. 1. Результат схлестывания лопастей во время раскрутки винтов. Ка-27ПЛ, ТАКР «Новороссийск», 26 сентября 1983 г.

Анализ принятого сигнала позволяет контролировать, за счет измерения временных интервалов между временными отметками полученных от соседних лопастей, целостность горизонтальных креплений лопастей. Также за счет измерения разности фаз излученного и принятого отраженного сигналов измеряется амплитуда махового движения лопасти, по которой и определяется целостность вертикальных креплений лопастей.

Рис. 2 Схема расположения АФС устройства на хвостовой балке вертолета

Помимо состояния крепления лопасти устройство позволяет контролировать скручивание и угол установки лопасти посредством измерения длительности импульсного сигнала, характеризующего отраженный от лопасти электромагнитный поток и сравнения его с информацией о угле установки лопасти, полученной с системы датчиков бортового регистратора параметров. Также частота принятых сигналов показывает частоту вращения несущего винта.

Используя вышеперечисленные возможности, устройство накапливает и сравнивает измеренные значения амплитуд маховых колебаний и углов скручивания лопастей и позволяет измерять низкочастотные изгибно-крутильные колебания. Также данная измерительная система, реализованная на базе предлагаемого метода, может выявлять несоконусность установки лопастей, сближение лопастей несущих винтов вертолета, предотвращая схлестывание лопастей в соосной схеме и распознавать такие явления как земной резонанс и флаттер.

Библиографический список

1. **Пат.** 2593652 Российская Федерация, МПК G01B7 /30 (2006.01). Способ контроля целостности лопастей несущего винта вертолета и устройства для его осуществления / Данилин А. И., Жуков С. В., Грецков А. А., Бояркина У. В. ; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С. П. Королева (СГАУ) ; заявл. 15.04.15 ; опубл. 14.07.2016, Бюл. № 22. – С. 5.
2. **Данилин, А. И.** Оптоэлектронные системы определения деформационного состояния несущего винта вертолета / А. И. Данилин, С. В. Жуков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 4(6). – С. 1307 – 1314.

СИНТЕЗ КОЛЬЦЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА ОСНОВЕ ДВУХГРЕБНЕВОЙ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ГИБРИДНОГО ЭФИРНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

А. Д. Киселев, А. Д. Любимов

Тамбовский государственный технический университет

На сегодняшний день расширение зоны покрытия беспроводных сетей является очень актуальной задачей. Высотные здания современных мегаполисов переполнены базовыми станциями (БС) сетей мобильной связи, систем

Рис. 1. КАР на основе двухгребневого рупорного излучателя

спутникового телевидения. Это приводит к проблемам электромагнитной совместимости (ЭМС), и как следствие, к ухудшению качества связи [1, 2]. Для решения данных проблем предлагается использование кольцевой антенной антенны на основе двухгребневого рупорного излучателя.

Кольцевые антенные решетки (КАР) в настоящее время находят широкое применение в радиопеленгаторных системах и системах связи в составе базовых станций, представляющие собой системы излучателей, расположенных по окружности (рис. 1).

Коэффициент направленного действия в направлении максимального излучения может быть вычислен:

$$D = 4\pi f^2(\theta_{гл}, \varphi_{гл}) \Big/ \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} f^2(\theta, \varphi)\sin\theta d\theta d\varphi, \qquad (1)$$

где $f(\theta, \varphi)$ – ненормированная амплитудная характеристика направленности антенной решетки; $f(\theta_{гл}, \varphi_{гл})$ – значение ненормированной амплитудной характеристики направленности главного максимума излучения, положение которого определяется угловыми координатами $\theta_{гл}, \varphi_{гл}$.

В соответствии с теоремой перемножения, ненормированную амплитудную характеристику направленности этой решетки можно представить в виде [2]:

$$f(\theta, \varphi) = f_{лсэв}(\theta, \varphi) f_{с}(\theta, \varphi), \qquad (2)$$

где $f_{лсэв}(\theta, \varphi)$ – функция, характеризующая направленные свойства одного вибратора, а $f_{с}(\theta, \varphi)$ – множитель системы.

При ориентации вибратора вдоль оси Y его амплитудная характеристика направленности описывается выражением:

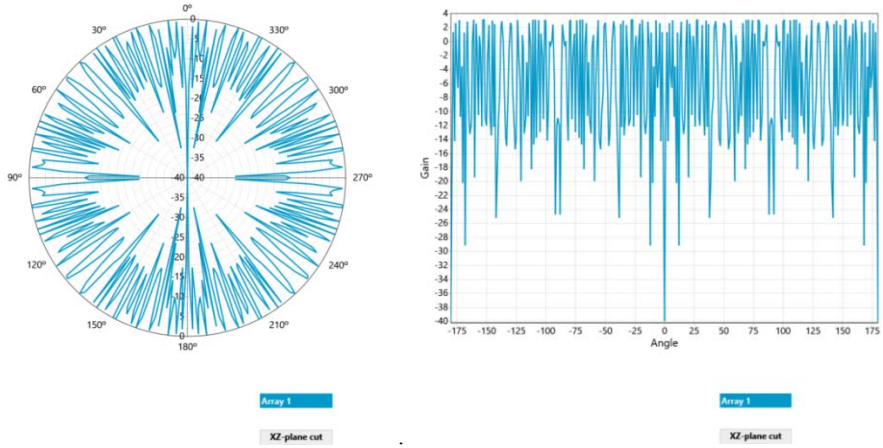
$$f_{лсэв}(\theta, \varphi) = [\cos(kl\sin\varphi\sin\theta) - \cos kl] \Big/ \sqrt{1-(\sin\varphi)^2(\sin\theta)^2}, \qquad (3)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ – коэффициент фазы электромагнитной волны в свободном пространства; l – длина плеча вибратора.

В общем случае коэффициент направленного действия антенной решетки может быть рассчитан по формуле (1), которую с учетом (2) можно представить в следующем виде:

$$D = 4\pi f^2(\theta_{гл}, \varphi_{гл}) \Big/ \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} [f_{лсэв}(\theta, \varphi) f_{с}(\theta, \varphi)]^2 \sin\theta d\theta d\varphi. \qquad (4)$$

На основе аналитических выражений выполним моделирование, результаты которого приведены на рис. 2.



а) *б*)

Рис. 2. Нормированные диаграммы направленности по напряженности поля в полярной (*а*) и декартовой (*б*) системах координат

Таким образом, благодаря круговой симметрии, такие антенные решетки могут использоваться для получения ненаправленных (в плоскости решетки) амплитудных диаграмм направленности, а также для создания направленных амплитудных диаграмм, слабо меняющихся при сканировании в пределах 360°.

Библиографический список

1. **Построение** сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.

2. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента кафедры КРЭМС О. А. Белоусова

Работа выполнена в центре коллективного пользования
«Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, А. И. Дякин

Тамбовский государственный технический университет

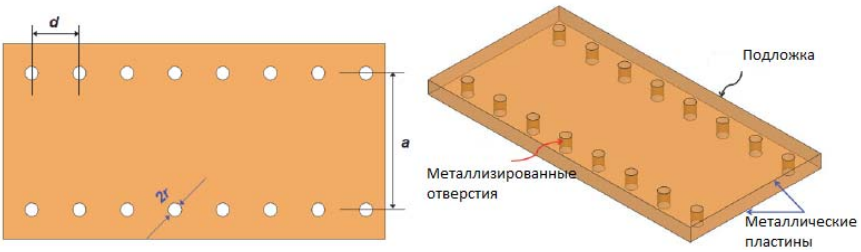
В настоящее время большой интерес представляет разработка излучателей с высокими электродинамическими характеристиками, работающих в широкой полосе частот, компактными размерами и хорошей повторяемостью. Это представляет интерес как для систем беспроводного широкополосного доступа, так и для систем спутниковой связи. Одним из подходов для решения поставленной задачи является применение сверхширокополосных излучателей с экспоненциальным расширением щели использующие копланарные волноводы.

В копланарном волноводе (рис. 1) боковые стенки изготовлены в подложке отверстиями, а не сплошными стенками, какие используются в обычных металлических волноводах.

Применение такого типа волноводов позволяет разрабатывать конструкцию более технологичной и с меньшими массогабаритными показателями по сравнению с металлическими при сохранении основных электродинамических характеристик. Таким образом, применяя такой тип волноводов, имеется возможность реализовать сверхширокополосные излучатели, не уступающие по параметрам, а иногда даже и превосходящие по сравнению с излучателями, выполненными из метала.

По сравнению с обычными узкополосными системами проектирование антенн для сверхширокополосных систем является сложной задачей. Поэтому существуют компромиссы, как правило, между широкой полосой пропускания, компактным размером, низкой стоимостью, высокой эффективностью излучения и минимальной дисперсией. К такому типу антенн можно отнести излучатели Вивальди.

Антенна Вивальди (АВ) принадлежит к классу TSA (аббревиатура от англ. Tapered Slot Antenna – антенна с расширяющейся щелью) и имеет хорошие электродинамические показатели для широкого диапазона рабочих частот [2].



а) *б*)

Рис. 1. Копланарный волновод на диэлектрической подложке:
а – вид сверху; *б* – 3D-вид

АВ идеально подходят для применения в сверхширокополосных антенных системах из-за высокого коэффициента усиления, простого дизайна, узкой ширины луча в плоскости *E* и относительно широкой рабочей полосы частот и не требующих широких поперечных размеров при производстве [3].

Особенность применения данных структур при построении таких излучателей заключается в том, что они сохраняют основные преимущества классических волноводов, т.е. большая передаваемая мощность, малые потери, полностью экранированная структура, высокая добротность резонаторов, но при этом приобретаются черты планарных структур, а именно малые размеры и вес, низкая стоимость производства. Одно из главных преимуществ этой технологии – это возможность интегрировать все компоненты на одной подложке, включая пассивные компоненты, активные элементы и даже антенны, что позволяет реализовывать разнообразные антенные структуры в печатном исполнении для различных частотных областей с сохранением основных электродинамических характеристик и масс-габаритных показателей, это немаловажный аспект при проектировании плоских антенных решеток как для систем наземной спутниковой связи так и для систем беспроводного широкополосного доступа.

Библиографический список

1. **Furuyama, H.**, Japanese Patent (H4-220881). – Jul. 1992.
2. **Вендик, О. Г.** Антенны с электрическим сканированием / О. Г. Вендик, М. Д. Парнес, Л. Д. Бахрах. – Science Pres, 2001. – 252 с.
3. **Sang-Gyu, K. and C. Kai** “A Low Cross-polarized Antipodal Vivaldi Antenna Array for Wideband Operation,” 2004 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. – 2004. – V. 3. – P. 2269 – 2272.

Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»

ЦИФРОФИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д. С. Куренков, А. П. Илясов, Д. А. Сидорова, В. С. Ерышова

Тамбовский государственный технический университет

При производстве и исследовании теплоизоляционных материалов (ИТМ) с использованием интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы (ИИИУС) проводится точный контроль не только параметров качества ИТМ (коэффициентов тепло- и температуропроводности, λ и α), но и режимных параметров технологического процесса их изготовления. Для повышения точности и достоверности результатов измерения контролируемых параметров предлагается цифрофизация измерительного канала ИИИУС (рис. 1), а также аналого-цифровая коррекция цифрового измерительного канала (ЦИК) на воздействие внешних факторов [1 – 4].

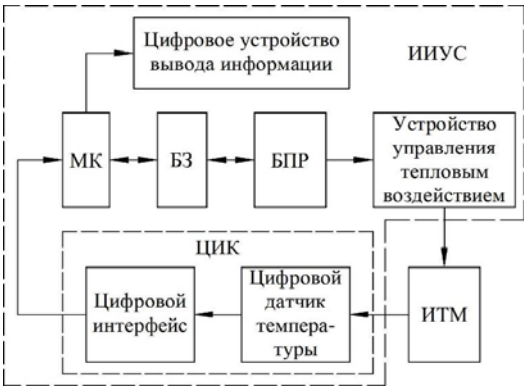


Рис. 1. Структурная схема ИИИУС

Микроконтроллер (МК) выполняет функции приема, обработки полученной измерительной информации о температуре в области контакта измерительного зонда ИИИУС и ИТМ, реализации применяемого метода неразрушающего контроля λ и α ИТМ с использованием созданных базы знаний (БЗ) и блока принятия решений (БПР) [5 – 8]. Применение цифровых датчиков TSic 301 с точностью ±0,3 °С, коррекция ЦИК позволяют обеспечить допустимую погрешность измерения λ и α ИТМ не более 4%.

Библиографический список

1. **Selivanova, Z. M.** A Systematic Method of Improving the accuracy of an Information and Measuring System for Determining the Thermophysical Properties of Materials Under the Effect of Destabilizing Factors / Z. M. Selivanova, T. A. Khoan // Measurement Techniques. – 2017. – V. 60, Is. 5. – P. 473 – 480.

2. **Селиванова, З. М.** Теоретические основы построения интеллектуальных информационно-измерительных систем допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов : монография / З. М. Селиванова, К. С. Стасенко. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 200 с.

3. **Стасенко, К. С.** Метод и интеллектуальная информационно-измерительная система для повышения точности допускового контроля теплопроводности материалов / К. С. Стасенко, З. М. Селиванова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 1, Т. 21. – С. 42 – 49.

4. **Селиванова, З. М.** Повышение точности информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Измерительная техника. – 2015. – № 9. – С. 45 – 48.

5. **Selivanova, Z. M.** Increasing the Accuracy of Data-Measuring Systems for the Nondestructive Testing of the Thermal Properties of Solids / Z. M. Selivanova, T. A. Khoan // Measurement Techniques. – 2015. – V. 58, N 9. – P. 1010 – 1015.

6. **Селиванова, З. М.** Интеллектуализация информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов : монография / З. М. Селиванова. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 184 с.

7. **Селиванова, З. М.** Математические модели и алгоритм для совершенствования информационно-измерительной системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 520 – 534.

8. **Стасенко, К. С.** Интеллектуальная информационно-измерительная система мониторинга режимных параметров технологического процесса производства минеральных ват / К. С. Стасенко, З. М. Селиванова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 52 – 60.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВИБРОИСПЫТАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

А. В. Лысенко, С. А. Моисеев, Г. Ж. Надырбеков, А. С. Подсякин, А. Д. Шнайдер

Пензенский государственный университет

В настоящее время существует три типа систем управления вибрационными установками – интегрированные системы управления, мобильные системы управления и стационарные системы управления.

Мобильные вибростенды с интегрированными системами управления, с питанием от встроенных аккумуляторов предназначены для калибровки акселерометров, датчиков виброскорости, бесконтактных вихретоковых датчиков и целых измерительных каналов стационарных систем. Широкий диапазон генерируемых частот и амплитуд, удобное крепление датчиков, низкий вес и габариты делают их незаменимым средством для проверки стационарных и переносных средств измерений.

Назначение мобильных систем управления – задание и измерение параметров вибрации при работе в составе испытательных вибрационных установок.

Проводимые испытания: синусоидальная вибрация, классический удар, различные виды наложений, запись и воспроизведение полевых испытаний, аттестация вибростендов.

Стационарные системы управления вибрационными испытаниями при управлении отдельным вибростендом поддерживают от 40 до 1024 входных каналов. Также подобные системы могут управлять несколькими вибростендами (от 2 до 16) по одной оси или нескольким осям одновременно.

Подобные системы позволяют пользователю провести испытание крупного и(или) тяжелого образца, используя имеющиеся в его распоряжении

вибровозбудители (электродинамические, электрогидравлические и пр.), связав их общим расширительным столом (например, для испытания спутника, крупного блока, шкафа), или распределив по объекту испытания (например, по фюзеляжу самолета или ракеты), обеспечить заданное нагружение когерентного свойства, или, наоборот, квази-независимого (связи определяются пользователем как Coh, Coh+фаза или как CSD).

Проблема технической эффективности виброиспытаний электронных средств является комплексной и связана с решением взаимосвязанных проблем.

Первая проблема – адекватность режимов вибрационных испытаний (ВИ) – возникает вследствие того, что объект исследования в реальных условиях и при стендовых испытаниях функционирует в различных системах. В первом случае ЭС взаимодействует с внешней средой (объект оснащения электронным средством), во втором – со стендом, который должен воспроизводить наиболее существенные воздействия внешней среды и обеспечить условия функционирования испытуемого изделия, адекватные реальным условиям. В высокочастотном поддиапазоне при передаче вибрационного воздействия от вибростола контуру крепления объекта исследования кроме инерционного воздействия объект исследования подвергается деформационному воздействию, при котором точки крепления объекта исследования совершают противофазные упругие перемещения.

Вторая проблема – точности воспроизведения испытательных режимов вибрации – возникает вследствие существенного взаимодействия объекта исследования со стендами и ограниченных возможностей стендов по воспроизведению указанных режимов. Исследования по этому вопросу проведены только с инерционной (безрезонансной) нагрузкой [ост 90]. Для более общего и важнейшего для ЭС случая, когда объект исследования является сложной колебательной системой, физические причины искажений испытательных режимов полностью не раскрыты и не найдено простых и эффективных средств борьбы с этими искажениями. Поэтому в настоящее время искажения режимов вибрации при испытании ЭС составляют сотни процентов.

Библиографический список

1. **Лысенко, А. В.** Методика моделирования внешних механических воздействий на бортовую РЭА / А. В. Лысенко, Е. А. Данилова, Г. В. Таньков / Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2013. – Т. 1. – С. 226 – 228.

2. **Автоматизированная** многоканальная виброиспытательная установка / А. В. Лысенко, А. В. Затылкин, Д. А. Голушко и др. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – № S. – С. 83.

Работа выполнена в рамках реализации проекта
(*Соглашение № 17-79-10281 от 24.07.2017*)
при финансовой поддержке Российского научного фонда

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ И АППАРАННОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

А. Ю. Наумова, Ю. Т. Зырянов, А. Д. Любимов

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время разработано множество моделей, методов и алгоритмов оценки надежности программного обеспечения (ПО) информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС), однако единого подхода к решению этой задачи не существует. Причиной этому является уникальность каждой информационной системы. При разработке компьютерных систем разработчики стараются получить оценку надежности ПО, как правило, на основе результатов конечных испытаний. Основными подходами при создании отказоустойчивых систем управления и обработки информации является применение алгоритмов и моделей оценки надежности программных средств на каждом шаге жизненного цикла ИИУС. При оценке показателя надежности рассматривают такие понятия как надежность аппаратных средств и надежность программных средств. Главная цель повышения надежности ИИУС – целостность хранящихся в них данных. На данный момент времени вопросы, связанные с аппаратной надежностью, изучены в большей степени сферы, связанной с надежностью программного обеспечения. На такой результат влияют многие факторы и, в особенности, множество различий аппаратных и программных комплексов. Говоря о надежности аппаратных средств, стоит упомянуть такие понятия как ошибка проектирования, производственный дефект и сбой.

Как показывает практика, события такого типа быстро ликвидируются. Например, при выходе из строя или при окончании срока службы одного из аппаратных блоков необходимо провести его замену. По мере того, как заканчивается срок службы объекта, поломки и сбои перестают быть случайными и возникают с возрастающей частотой. Таким образом, оценить надежность становится проще. Надежность ПО ИИУС существенно отличается от надежности аппаратуры. Программные средства не могут износиться и их поломка невозможна. Ненадежность ПО – следствие ошибок проектирования (разработки) программного средства. Ошибки в программном продукте обычно исправляют сразу после обнаружения, но этот процесс может и затянуться, к тому же при исправлении возникших ошибок нет уверенности, что они никогда не появятся повторно. Сбои аппаратных средств не зависят от обрабатываемых данных в ИИУС. Например, в основном входные данные центрального процессора (ЦП) – это поток типичных машинных команд, и во многих ЦП выполнение одной команды не зависит от результатов предыдущих. Входные данные ПО намного разнообразнее: необходимо учитывать все значения, какие пользователь может ввести в систему. Нередко из-за незнания пользователем программы входные данные могут быть некорректными и приводят к ошибкам разного рода. К тому же часто обработка элементов входных данных зависит от предыдущих команд. Еще одно существенное различие заключается в том, что аппаратные средства в значительной мере

независимы от сферы применения. Один и тот же ЦП можно использовать для реализации системы бронирования билетов в кино, и для моделирования системы обслуживания в банке. Программные средства, наоборот, зависимы от применения. Для предотвращения появления ошибок несовместимости для конкретной задачи необходима определенная программа. Для разработчика программного обеспечения такими блоками являются алгоритмы, операторы программы, являющиеся более примитивными по отношению к конечному объекту. Таким образом, говоря об аппаратной и программной надежности можно сделать вывод, что надежность аппаратного обеспечения определяется временем наработки на отказ или возможностью замены или ремонта оборудования. На программную же часть не имеет воздействия физический мир. Здесь отсутствует такое понятие как износ материалов.

На данный момент основными проблемами, которые могут возникнуть при работе программного обеспечения, является наличие логических ошибок в коде и особенности поведения программного обеспечения при высокой нагрузке.

Библиографический список

1. **Селиванова, З. М.** Оценка надежности информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов при воздействии дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4. – С. 13 – 19.

2. **Чернышова, Т. И.** Метод повышения метрологической надежности при проектировании аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 1(17). – С. 50 – 58.

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов, А. Д. Любимов

Тамбовский государственный технический университет

Целью диагностики сложных информационно-измерительных систем (ИИС) является решение вопросов, связанных с анализом их текущего состояния, своевременным обнаружением аварийных и предаварийных режимов работы, оценкой остаточного ресурса. Это повышает надежность ИИС и при удовлетворительном техническом состоянии оборудования позволяет увеличить их ресурс.

В условиях использования сложных ИИС многие методы диагностики не применимы, так как не всегда возможен доступ к диагностируемой системе. Поэтому с точки зрения практической реализации систем диагностики, преимущество имеют методы, основанные на анализе наблюдаемых электрических параметров, в частности тока, напряжения, потребляемой и отдаваемой мощности, измерение которых возможно и без непосредственного доступа к диагностируемому электрооборудованию, а также без установки первичных измерительных преобразователей в непосредственной близости от него [1].

На текущем этапе развития техники возможно создание диагностической системы, функциональная часть которой состоит из компьютера и устройства сбора данных, производящего необходимые измерения и передающего их в компьютер. Предлагаемая система должна быть мобильна и осуществлять диагностику без непосредственного доступа к электрооборудованию ИИС. Программное обеспечение операций диагностики, выполняемое на компьютере, должно, в свою очередь, определенным образом обработать входную информацию и определить наиболее вероятный вид повреждения работающего элемента ИИС или сделать заключение о его исправности. Рассматриваемый нейросетевой метод диагностики сложных ИИС позволяет хранить на компьютере большие базы данных с информацией о прецедентах в обслуживании и диагностике большого количества изделий, что позволяет использовать прецедентный принцип при машинном обучении диагностических моделей (моделей контроля, прогноза и поиска неисправностей ИИС).

Для этой цели при эксплуатации ИИС необходимо использовать две основные группы приборов нейросетевой диагностики:

– аппаратуру сбора, кодирования, формирования группового диагностического сигнала и его передачи по проводным или беспроводным каналам связи. Фактически в основе аппаратуры данной группы приборов заложена реализация телеметрических систем, непосредственно монтируемых на изделии [2];

– аппаратуру приема группового диагностического сигнала, его первичной обработки, распаковки и нейросетевого анализа аппаратными нейросредствами.

Ввиду того, что для реализации нейросетевой парадигмы диагностирования необходим полный вектор измеряемых параметров, которые опрашиваются одновременно и периодически, аппаратура сбора и передачи данных является многоканальной. Количество каналов определяется количеством независимых информационных входов [1].

Исходные сигналы si, $i = 1,\ldots, N$ с выхода датчиков одновременно подаются на входы информационных каналов коммутатора измерительных каналов (рис. 1).

Рис. 1. Функциональная схема аппаратуры сбора и передачи диагностического сигнала ИИС

Библиографический список

1. **Селиванова, З. М.** Оценка надежности информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов при воздействии дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4. – С. 13 – 19.

2. **Чернышова, Т. И.** Метод повышения метрологической надежности при проектировании аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 1(17). – С. 50 – 58.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ (МНК) В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ВТОРОГО ПОРЯДКА

В. Ф. Нгуен, Д. К. Чан, С. А. Татаринцев

Тамбовский государственный технический университет

Наиболее распространенная задача идентификации объектов автоматического регулирования – это определение передаточной функции объекта управления по его переходной характеристике, получаемой как реакция на входное ступенчатое воздействие. Применительно к динамическим системам управления в качестве входного ступенчатого воздействия можно рассматривать управляющий сигнал на включение (выключение) двигателя, насоса, и т.п., открытие (закрытие) входных клапанов, и т.д. Рассмотрим общий подход к параметрической идентификации динамических характеристик объекта управления.

Положим, что система стационарна и линейна в диапазоне изменения амплитуды входного сигнала и в окрестностях рабочего режима. Исходными данными для идентификации являются экспериментальные значения кривой разгона объекта y_j, полученные в дискретные моменты времени t_j

$$J = 1, 2, \ldots, N.$$

Применим МНК для определения значений коэффициентов передаточной функции из условия наилучшего соответствия модели и объекта при установленном заранее на основании формы переходной функции и динамических свойств объекта типе передаточной функции.

Предположим, что полученные в результате активного эксперимента данные y_j могут быть аппроксимированы динамическими характеристиками апериодического звена второго порядка с передаточной функцией:

$$W_0(p) = \frac{k_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}. \qquad (1)$$

Поставим задачу определения параметров модели объекта k_0, T_1, T_2 обеспечивающих наилучшее соответствие модельного описания и экспериментальных данных.

Для решения задачи идентификации перейдем от модели объекта в форме передаточной функции (1) к временной характеристике кривой разгона h_t, вычисляя обратное преобразование Лапласа или с помощью таблиц преобразований

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{k_0}{(T_1 p+1)(T_2 p+1)}\right\} = k_0\left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{\frac{-t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{\frac{-t}{T_2}}\right). \qquad (2)$$

Переходную функцию h_t будем рассматривать как функцию, параметрически зависящую от коэффициентов k_0, T_1, T_2 и от времени *t*.

Для нахождения параметров переходной характеристики составим функционал квадратичной невязки экспериментальных данных y_i и расчетных значений для тех же моментов времени $t = t_j$, и минимизируем его:

$$\min_{k_0, T_1, T_2} J(k_0, T_1, T_2) = \min_{k_0, T_1, T_2} \sum_{j=1}^{N}\left[k_0\left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{\frac{-t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{\frac{-t}{T_2}}\right) - y_j\right]^2. \qquad (3)$$

Для получения оценок искомых параметров k_0, T_1, T_2 методом наименьших квадратов запишем для (3) условия минимума функционала

$$\begin{cases} \dfrac{\partial J}{\partial k_0} = 0 \\ \dfrac{\partial J}{\partial T_1} = 0 \\ \dfrac{\partial J}{\partial T_2} = 0 \end{cases} \qquad (4)$$

и разрешим полученную систему (4). Конкретный способ решения построенной системы приводит к различным вариантам применения МНК.

Решение системы уравнений (4), составленной для непрерывной модели объекта (2) вызывает определенные сложности, связанные с аналитическими вычислениями. Кроме того, учитывая, что исходными данными являются массивы значений входных и выходных сигналов, полученные в дискретные моменты времени с определенным периодом квантования Δ_t, часто оказывается удобнее применять дискретные модели объекта. Рассмотрим применение метода наименьших квадратов для идентификации цифровой модели второго порядка, аппроксимирующей рассмотренный выше апериодический объект второго порядка, описываемый непрерывной моделью объекта:

$$T_1 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_2 \frac{dy}{dt} + y(t) = k_0 u(t). \qquad (5)$$

Процедура дискретизации модели (5) приводит к уравнению линейной регрессии, частному случаю общего уравнения, для которого определены порядки $n = 2$, $m = 1$

$$y(k) = a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + bu(k-1), \; k = 1, 2, ..., N, \qquad (6)$$

где $a_1 = \dfrac{2T_1 - T_2\Delta t}{T_1}$; $a_2 = \dfrac{(T_2 - \Delta t)\Delta t - T_1}{T_1}$; $b = \dfrac{k_0 \Delta t^2}{T_1}$ – параметры дискретной модели, подлежащие оцениванию; Δt – период квантования.

Библиографический список

1. **Айвазян, С. А.** Прикладная статистика. Исследование зависимостей / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
2. **Александров, А. Г.** Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. – М. : Высшая школа, 1986. – 262 с.
3. **Александровский, Н. М.** Методы определения динамических характеристик нелинейных объектов / Н. М. Александровский, А. М. Дейч // Автоматика и телемеханика. – 1968. – № 1. – С. 167 – 188.

СРАВНЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛАЗЕРНОГО КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК ГАЗА В ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

А. Н. Нури

Тамбовский государственный технический университет

Существуют разнообразные подходы к обнаружению утечек в газотранспортной системе (ГТС). Традиционно команда, оснащенная некоторым средством для обнаружения газа, таким как пламенно-ионизационный детектор (ПИД), датчик горючих газов (ДГГ) или натренированная на газ собака, совершает обходы, или двигается на автомобиле вдоль трассы трубопровода и ищет признаки наличия газа. Все технологии, за исключением использования собаки, позволяют достаточно точно измерять концентрацию газа и имеют возможность оценить размер утечки.

При обследовании магистральных трубопроводов в ГТС операторы полагаются чаще всего на результаты визуального осмотра с воздушного судна. Наблюдатель с борта самолета или вертолета ищет зачахшую растительность над трубопроводом, которая является признаком утечки газа.

Можно выделить две особенности, отличающие лазерный прибор от ПИД или ДГГ. Лазерный детектор утечки (ЛДОУ) природного газа может обнаруживать выбросы дистанционно с частотой до 10 импульсов в секунду, т.е. операторам, следящим за состоянием ГТС, нет необходимости находиться рядом с трубопроводом и предполагаемым облаком газа. При этом чувствительность детектора на основе лазера позволяет обнаруживать даже самые малые выбросы газа. По точности результатов измерений ПИД и ДГГ имеют преимущество, однако точность ЛДОУ вполне достаточна для программ обнаружения утечек из трубопроводов.

Обычно, основная задача состоит в том, чтобы найти утечку, а дополнительная в том, чтобы количественно оценить точность измерения концентрации газа. Сравнение результатов простого визуального патрулирования и патрулирования с использованием инструментального контроля базируется на возможности детального документирования и раннего, в течение одной минуты, обнаружения признаков утечки. Лазерные приборы, включая связанную с ними оптику и электронику, доступны практически всех размеров и конструктивного исполнения. От портативных приборов и систем, устанавливаемых на автомобилях или летательных аппаратах, до стационарных платформ для одно- или многоточечного контроля. При использовании высокоэффективных уголковых отражателей возможно проведение измерений вдоль трубопроводной линии на расстоянии до 4 км.

Рис. 1. Способ контроля утечек газа в газотранспортной системе

Основа лазерного прибора для нахождения утечек метана с воздуха – это диодный лазер с перестраиваемой частотой и излучением в спектральном диапазоне 1,65 мкм. Метан хорошо поглощает инфракрасное излучение на этой длине волны, что обеспечивает высокую эффективность метода. Лазер наводится на трубопровод с помощью зеркал или призм. Луч лазера отражается от поверхности (либо от самого трубопровода, либо от подземной сети на поверхности над трубопроводом). Отраженное излучение принимается оптическим блоком системы, и, благодаря спектроскопической демодуляции сигнала и сложному алгоритму обработки, можно вычислить концентрацию газа, если метан присутствует где-то вдоль траектории луча лазера.

Управление данными выполняется подрядчиком, который получает файлы со схемой трубопроводов и отправляет отчет о найденной утечке.

Библиографический список

1. **Бубличенко, И. А.** Лазерный газоанализатор для поиска утечек газа из подземных газопроводов / И. А. Бубличенко, Б. Е. Мохноножкин // Приборы и техника эксперимента. – 1999. – № 5. – С. 126 – 129.

2. **Заводовский, А. Г.** Малогабаритный лазерный локатор утечек метана / А. Г. Заводовский, И. И. Плюснин, С. М. Сысоев // Датчики и системы. Sensors & Systems. – 2007. – № 4(95). – С. 28–29.

Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора В. Н. Шамкина

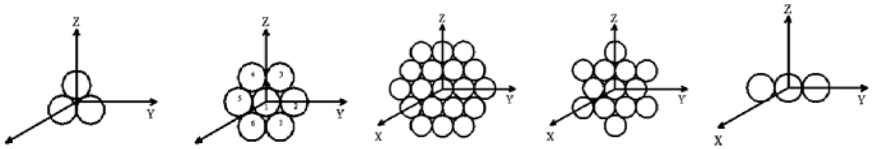
МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ЧИСЛА ОБЛУЧАТЕЛЕЙ В МНОГОЛУЧЕВОМ ЗЕРКАЛЬНОМ КРУПНОАПЕРТУРНОМ ИЗЛУЧАТЕЛЕ

Д. Ю. Рябов, А. А. Попов, А. И. Дякин, А. Д. Киселев

Тамбовский государственный технический университет

Одним из методов минимизации излучателей в многолучевых антенных решетках (МАР) является использование многолучевых крупноапертурных излучателей (КАИ). Помимо минимизации количества излучателей, многолучевые КАИ позволяют уменьшить падение коэффициента усиления (КУ) в заданном коническом секторе обзора [1].

В многолучевом КАИ параболическое зеркало выполняет функцию простейшей аналоговой диаграммообразующей схемы (ДОС) многоэлементного кластерного облучателя, расположенного в фокальной плоскости зеркала [2, 3]. Количество лучей, формируемых таким КАИ, прямо зависит от количества элементов в облучателе. Для покрытия конического сектора обзора, многоэлементный облучатель должен иметь осесимметричную или близкую к ней конфигурацию [2, 3]. На рисунке 1 *а*, *б*, *в* представлены возможные простейшие конфигурации облучателя, состоящего из круглых волноводов с числом волноводов от 3 до 19. Ниже представлен набор облучателей для обеспечения оптимальной конфигурации зеркального КАИ (рис. 1 *а*, *б*, *д*).



а) *б*) *в*) *г*) *д*)

Рис. 1. Возможные схемы компоновки осесимметричного облучателя, состоящего из *n* круглых волноводов (*а*, *б*, *в*), схема, близкая к осесимметричной (*г*), и схема компоновки излучателей, используемая при промежуточном моделировании (*д*)

Разработка более сложных конфигураций облучателей с целью формирования наиболее оптимальных по форме диаграмм направленности многолучевых КАИ представляет значительный интерес, однако применение таких облучателей нецелесообразно при использовании зеркал с малыми габаритами из-за большого затенения зеркала и, как следствие, ухудшения характеристик направленности.

Библиографический список

1. **Пономарев, Л. И.** Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи / Л. И. Пономарев, В. А. Вечтомов, А. С. Милосердов ; под ред. Л. И. Пономарева. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 197 с.

2. **Построение** сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.

3. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента кафедры КРЭМС О. А. Белоусова

Работа выполнена в центре коллективного пользования
«Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»

МНОГОЛУЧЕВОЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ КРУПНОАПЕРТУРНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ В МНОГОЛУЧЕВЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ КОСМИЧЕСКИХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ KU-ДИАПАЗОНА

Д. Ю. Рябов, А. А. Попов, А. И. Дякин

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время очень часто в качестве антенных элементов многолучевой антенной решетки (МАР) используются крупноапертурные излучатели (КАИ). Это позволяет осуществлять диаграммообразование в два этапа. Во-первых, с помощью простейшей аналоговой диаграммообразующей схемы (ДОС) в виде зеркала формируется многолучевая диаграмма направленности (ДН) с малым количеством широких (порядка 6º) лучей, а во-вторых, цифровыми методами формируется многолучевая ДН, состоящая из большого количества узких (0,5° – 1°) лучей. Количество (M) и ширина узких лучей зависит от количества КАИ (N) и лучей, формируемых ими (m) ($M = N \times m$). В результате снижаются требования к вычислительным мощностям на формирование многолучевой ДН. Например, КАИ применены в антенной решетке спутниковой системы связи (ССС) «Тайком-4», выведенного на геостационарную орбиту в 2005 году.

Для начала оценим параметры однолучевого зеркального КАИ. Такой КАИ, при условии использования простейших профилей зеркал и простейших облучателей, прост в изготовлении и обладает низким уровнем затенения зеркала облучателем. Радиус (R_0) такого КАИ можно вычислить из соотношения [1, 2]:

$$R_0 = K\frac{\lambda}{2\cdot 2\theta_{-3\,\text{дБ}}},$$

где λ – длина волны, $2\theta_{-3\,\text{дБ}}$ – ширина луча по уровню –3 дБ, $K \approx 70$, для зеркальных антенн, а фокусное расстояние приблизительно вычисляется как $f = 0{,}7R = 2{,}81\lambda$.

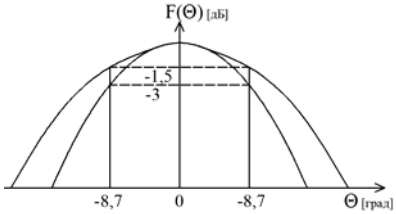


Рис. 1. ДН однолучевого зеркального КАИ

Но однолучевой КАИ обладает рядом недостатков, важнейшим из которых является низкий уровень КУ [2]. Это, в свою очередь, приводит к увеличению количества излучателей в МАР, так для формирования МАР с круглой апертурой и с шириной луча от 0,5° до 2° потребуется значительное количество излучателей (от 61 до 919 КАИ с радиусом зеркала $R \approx 2\lambda$).

Другим недостатком является то, что ширина ДН однолучевого и не оптимизированного по крутизне ската ДН зеркального КАИ составляет по уровню –3 дБ 17,4°, вследствие чего в периферийной части рельефа КУ будет наблюдаться значительное падение КУ, достигающее –3 дБ на границе сектора обзора (рис. 1).

Уменьшить это падение можно с помощью расширения ДН. Однако при этом уменьшатся габариты отдельного КАИ и, как следствие, увеличится требуемое количество излучателей в МАР для формирования прежней ширины ДН МАР [3]. Это приведет к значительному увеличению энергетических и вычислительных мощностей. В связи с этим перспективным направлением является исследование способов минимизации количества КАИ в МАР для ССС.

Библиографический список

1. **Пономарев, Л. И.** Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи / Л. И. Пономарев, В. А. Вечтомов, А. С. Милосердов ; под ред. Л. И. Пономарева. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 197 с.

2 **Построение** сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.

3. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента кафедры КРЭМС О. А. Белоусова

Работа выполнена в центре коллективного пользования
«Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»

СИНТЕЗ МИКРОПОЛОСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

К. В. Скоморохов, А. Ю. Дмитриевцев, А. Д. Любимов

Тамбовский государственный технический университет

Современное развитие систем беспроводного широкополосного доступа повлекло увеличение диапазонов, отводимых для данных систем, разработку и внедрение сложных антенных систем и соответствующих методов обработки сигналов.

Появление микрополосковых излучателей обусловлено потребностью в легких, тонких и дешевых антенных устройствах. Любой микрополосковый излучатель представляет собой лист диэлектрика небольшой толщины с нанесенным с обоих сторон тонким медным покрытием. На одной стороне изготовлены излучающий элемент, цепи питания, управления и согласования. Другая металлическая сторона антенной платы служит экраном [1, 2].

Синтез микрополоскового излучателя состоит в определении размеров резонатора и выбора полосковой линии для получения заданной ширины главного лепестка ДН антенны.

По характеристике направленности определяется размер b ленточного проводника антенны. При этом расстояние L приблизительно равно $\lambda_\partial / 2$, где λ_∂ – длинна волны в диэлектрике. Далее выбирается размер h, при расчете антенны предполагается, что размер h удовлетворяет условию $kh << 1$, где $k = 2\pi / \lambda_0$, λ_0 – рабочая длина волны [2, 3].

Диаграмма направленности имеет вид

$$F(\theta, \varphi) = \frac{\sin(\pi b \lambda^{-1} \cos\varphi)}{\pi b \lambda^{-1} \cos\varphi} \cos\theta \cos\left(\frac{\pi l}{\lambda} \sin\theta\right). \quad (1)$$

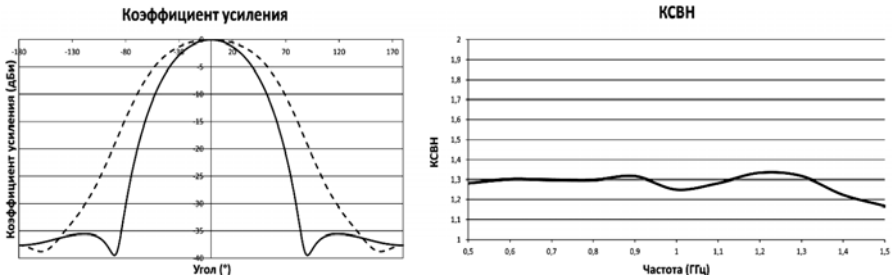
Выбранные параметры антенны позволяют вычислить волновое сопротивление низкоомной несимметричной полосковой линии и входную проводимость излучающей антенны $Y = G + jB$ [3, 4].

Проводимость G рассчитывается методом, применяемым обычно в теории щелевых антенн

$$G\left[\text{Ом}^{-1}\right] \approx b/120\lambda. \quad (2)$$

В качестве микрполосковой антенной структуры рассмотрим излучатели Вивальди. Основные электродинамические характеристики представлены на рис. 1.

Таким образом применение микрополосковых излучателей для систем широкополосного доступа позволит повысить надежность систем, а также упростить их ремонт за счет простоты своей конструкции. За счет применения современных алгоритмов диаграммообразования имеется возможность интеграции в интеллектуальные беспроводные широкополосные самоорганизующиеся сети.



а) *б*)

Рис. 1. Характеристики излучателя Вивальди:
а – диаграмма направленности; *б* – зависимость КСВН от частоты

Библиографический список

1. **Воскресенский, Д. И.** Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.
2. **Построение** сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.
3. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.
4. **Чернышова, Т. И.** Математическое моделирование метрологической характеристики блока аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 589 – 594.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента кафедры КРЭМС О. А. Белоусова

Работа выполнена в центре коллективного пользования
«Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»

СИНТЕЗ ЛИНЗОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

К. В. Скоморохов, А. Ю. Дмитриевцев, А. Д. Любимов, А. Д. Киселев

Тамбовский государственный технический университет

Линзовыми называются антенны, состоящие из радиопрозрачной линзы и облучателя, который располагается в ее фокусе. Основным назначением линзы является преобразование сферического или цилиндрического фронта

волны, создаваемого облучателем, в плоский. Линза представляет собой среду, в которой фазовая скорость распространения электромагнитных волн либо больше скорости света $(V_ф > c)$, либо меньше ее $(V_ф < c)$. Учитывая, что коэффициент преломления среды $(n = c / V_ф)$, линзу можно рассматривать как радиопрозрачное тело, у которого $n \neq 1$. У замедляющей линзы $n > 1$, ускоряющая линза имеет $n < 1$ [1, 2].

Условием синфазности поля в раскрыве линз является равенство длины оптического пути для всех лучей, выходящих из фокуса и идущих до ее раскрыва. В качестве синтеза линзы, выберем ускоряющую линзу [2, 3].

Рассмотрим ускоряющую линзу $(V_ф > c,\ n < 1)$, показанную на рис. 1. Облучатель будем полагать точечным, расположенным в фокусе линзы и излучающим сферическую волну. Тогда равенство $FO = FM + MN$ для оптических путей будет иметь вид

$$f = \rho + nx. \qquad (1)$$

Из рисунка 1 имеем

$$\rho = \sqrt{(f - x)^2 + y^2},\ x = f - \rho\cos\varphi. \qquad (2)$$

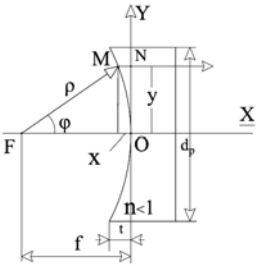


Рис. 1. Ускоряющая линза

Подставляя ρ из (2) в (3), после несложных преобразований найдем

$$(1 - n^2)x^2 - 2fx(1 - n) + y^2 = 0, \qquad (3)$$

а подставляя в (1) значение x из (2) получим

$$\rho = f\frac{1 - n}{1 - n\cos\varphi}. \qquad (4)$$

Уравнения (3) и (4) являются уравнениями эллипса в прямоугольной и полярной системах координат соответственно [3, 4].

Обладая прекрасными электродинамическими характеристиками линзовые излучатели находят широкое применение во всех сферах систем радиосвязи и радиодоступа. Возможно применение излучателей в MIMO – антенных структур для стандарта LTE позволяющее расширить зону покрытия, увеличить пропускную способность каналов, а также адаптироваться непосредственно к абонентам этого стандарта, за счет применения интеллектуальных алгоритмов обработки в составе диаграммы образующего устройства.

Библиографический список

1. **Воскресенский, Д. И.** Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.

2. **Построение** сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова,

О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.

3. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.

4. **Чернышова, Т. И.** Математическое моделирование метрологической характеристики блока аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 589 – 594.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента кафедры КРЭМС О. А. Белоусова

Работа выполнена в центре коллективного пользования
«Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»

ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ДАТЧИКА УРОВНЯ В МАСЛОБАКЕ

***Т. И. Вирясова*[1], *А. В. Майоров*[2]**

[1]*Пензенский государственный университет*
[2]*Научно-исследовательский институт физических измерений*

Датчики измерения уровня жидкости имеют широкое применение в различных сферах. Они используются в сельском хозяйстве, когда необходимо измерить уровень системы полива, жидких удобрений и т.п. Также они незаменимы в пищевой промышленности, где важно контролировать все виды жидкостей (молоко, напитки, минеральную и питьевую воду и многое другое). Также датчики применяют в нефтехимической промышленности, чтобы держать под контролем уровень нефти, бензина, масла. В фармацевтике их используют для того, чтобы следить за производством отрасли жидких лекарств. Их применение необходимо в системах водоснабжения, водоотведения, а в теплоэнергетике или металлургии они нужны для контроля объема воды, жидких материалов.

Принцип проектирования датчиков уровня зависит, прежде всего, от выбора первичного преобразователя. Метод измерения жидкости в сосуде определяется, исходя из технических возможностей первичного преобразователя. Авторами проанализированы 2 варианта конструкции первичных измерительных преобразователей (ПИП) датчика уровня масла. Работа ПИП термометрического типа зависит от скорости охлаждения резистора от уровня охлаждающей жидкости и от величины сопротивления проволочного резистора, которая варьируется при изменении температуры. С целью исключения влияния температуры окружающей среды введен второй такой же резистор, через который не протекает ток. При проведении авторами серии

экспериментов наблюдалась значительная нестабильность показаний (до 5% от измеряемой величины) и высокая дополнительная температурная погрешность (более 10% в диапазоне от 0 до 50° С), также наблюдалось изменение показаний в зависимости от использованной марки масла. Принцип работы первичного преобразователя емкостного типа основан на сравнении емкости опорного конденсатора C_0 и емкости измерительного конденсатора C_x, который представляет собой параллельное соединение двух конденсаторов, имеющих общие обкладки и различные материалы диэлектриков. Взаимосвязь между соотношением толщин диэлектрических слоев гетерогенной структуры и эквивалентной относительной диэлектрической проницаемостью изложена в работах [1 – 3]. В силу того, что конструктивно опорный конденсатор C_0 находится в нижней части датчика, скачкообразное уменьшение его емкости будет свидетельствовать о понижении уровня масла в маслобаке ниже нижней границы чувствительности датчика (объем масла менее 6 л). Относительная погрешность измерения уровня масла предлагаемым ПИП не превышает 1,5%.

Библиографический список

1. **Методика** выбора оптимального соотношения толщин диэлектрических пленок гетерогенной структуры / Е. А. Печерская, Р. М. Печерская, Ю. В. Аношкин, Д. В. Попченков // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2011. – № 1. – С. 227 – 229.
2. **К вопросу** об эффективности измерений в технологических процессах / Е. А. Печерская, Р. М. Печерская, Д. В. Рябов, О. Кузнецова // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2013. – Т. 2. – С. 98–99.
3. **Контроль** временной нестабильности диэлектрических параметров сегнетоэлектриков / Е. А. Печерская, Соловьев В. А., А. М. Метальников и др. // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2013. – № 2(100). – С. 84 – 88.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

П. Е. Голубков, Е. А. Печерская, А. В. Мартынов

Пензенский государственный университет

Технология микродугового оксидирования (МДО) существует с 70-х годов XX века, однако до сих пор остается нерешенной проблема управляемости процесса МДО и его автоматизации [1]. Основной сложностью, с которой сталкиваются ученые при решении данных проблем, является большое количество факторов, оказывающих влияние на свойства МДО-покрытия, что непосредственно отражается на качестве готового изделия.

Для устранения описанных сложностей целесообразно провести систематизацию всех факторов по степени влияния на процесс МДО и выявить основные из них. В работе [2] уже предлагалась подобная систематизация, однако она была недостаточно полной и не учитывала некоторые взаимосвя-

зи. Методы теории надежности и качества, такие, как причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы) и диаграмма связей, напротив, могут дать достаточно исчерпывающее качественное описание взаимосвязи факторов, влияющих на процесс МДО [3].

На основе данных, полученных из [4], были построены причинно-следственные диаграммы для всех параметров качества МДО-покрытий на алюминии и его сплавах: микротвердости, износостойкости, коррозионной стойкости, электрической прочности, удельного сопротивления и теплопроводности, анализ которых позволил выявить основные факторы (причины), влияющие на каждый из них. Эти факторы целесообразно разделить на параметры технологического процесса, параметры исходного сплава, состав электролита и внешние условия. Было получено, например, что на микротвердость МДО-покрытия оказывают влияние состав исходного сплава и чистота обработки поверхности заготовки, концентрация жидкого стекла Na_2SiO_3 в электролите, плотность тока, формирующее напряжение, время обработки и температура электролита. Также были выявлены факторы, влияющие на все остальные свойства покрытий и параметры качества процесса МДО.

По результатам анализа диаграмм Исикавы была построена диаграмма связей влияющих факторов процесса МДО, свойств получаемых покрытий и их параметров качества, при анализе которой было выявлено следующее. На все параметры качества влияют только три свойства МДО-покрытия: микротвердость, толщина и пористость, причем микротвердость влияет только на износостойкость.

Все факторы процесса МДО тем или иным образом влияют на свойства МДО-покрытий. Основными параметрами технологического процесса МДО являются: плотность тока, время обработки, формирующее напряжение, соотношение анодного и катодного токов и частота токовых импульсов. Они связаны со всеми свойствами покрытий, а также обеспечивают внешние условия (температуру и выработку электролита).

Выявленные основные параметры технологического процесса целесообразно использовать как независимые переменные при разработке математических моделей процесса МДО. Параметры исходного сплава и состава электролита должны входить в эти выражения как константы, поскольку они не изменяются в процессе МДО.

Таким образом, методы теории надежности могут служить информативным методом для поиска причинно-следственных взаимосвязей в сложных многофакторных процессах, таких, как МДО, а также основой для построения наиболее общих, первичных математических моделей и гипотез, требующих экспериментального подтверждения.

Библиографический список

1. **Automation** of the Micro-arc Oxidation Process / P. E. Golubkov, E. A. Pecherskaya, O. V. Karpanin et al. // J. of Phys. : Conf. Series. – 2017. – V. 917, doi: 10.1088/1742-6596/917/9/092021.

2. **Разработка** функциональной схемы влияния основных факторов процесса микродугового оксидирования на свойства покрытий / А. Е. Михеев, Т. В. Трушкина, А. В. Гирн и др. // Вестник СибГАУ. – 2015. – Т. 16. – № 2. – С. 464 – 479.

3. **К вопросу** об эффективности измерений в технологических процессах / Е. А. Печерская, Р. М. Печерская, Д. В. Рябов, О. Кузнецова // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2013. – Т. 2. – С. 98–99.

4. **Казанцев, И. А.** Технология получения композиционных материалов микродуговым оксидированием : монография / И. А. Казанцев, А. О. Кривенков. – Пенза : ИИЦ ПГУ, 2007. – 240 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

С. В. Бабкин, М. М. Кирюпин, А. И. Дякин

Тамбовский государственный технический университет

Ежегодно требования к габаритам, надежности и другим свойствам антенн заставляют искать более новые и перспективные методы их разработки. Одним из таких является использование фрактальных множеств. Данное направление еще находится на раннем этапе своего развития. Но уже на сегодняшний день они имеют преимущества перед нашими стандартными антеннами.

Фрактальная антенна – это антенна, активная часть которой имеет вид самоподобной кривой или какой либо другой подобно делящейся или состоящей из подобных сегментов фигуры. Получить фрактал можно разделив фигуру на все более мелкие объекты, деление может осуществляться бесконечно. Таким образом, любая из полученных фигур будет делиться на подобные, и в свою очередь являться частью такой же фигуры.

Уникальной особенностью фрактальной антенны является теоретически бесконечное уплотнение ограниченной области пространства геометрией антенны, и как результат – дополнительные резонансные частоты в рабочем диапазоне длин волн, часто превышающих внешние геометрические размеры фрактальной компактной структуры.

Функциональное назначение данных антенн заключается в том, что при сравнительно малых геометрических размерах, они широкополосные и многодиапазонные за счет большого количества резонансных частот, тем самым они экономичны и малогабаритны, при этом у них усиление выше.

Главной особенностью фрактальной антенны является самоподобие, за счет этого они и имеют преимущество перед стандартными антеннами. Яркий пример самоподобия можно наблюдать в таком явлении как решето Серпинского [1, 2].

Самоподобие геометрии приводит к ярко выраженным широкодиапазонным свойствам. Свойство самоподобия фрактальных структур обусловило высокую повторяемость их электромагнитных параметров в различных час-

тотных диапазонах. Также если сравнивать обычный симметричный вибратор и самоподобную ломанную кривую Коха, то можно увидеть, что кривая Коха эффективней. Если взять симметричный вибратор длинной 0,3 м и кривую с длинной отрезка так же 0,3 м то в результате дальнейших итераций длина кривой Коха будет 0,95 м, так как каждая итерация увеличивает длину результирующей кривой.

Весьма близким по своим свойствам к антенне на основе фрактала Кох является диполь, сформированный по закону ломаной Минковского. При построении этой антенны вместо системы треугольников на прямой формируют меандры убывающих размеров. При первом изгибе прямолинейного диполя его усиление возрастает. Последующие итерации практически не меняют коэффициент усиления, но диапазон рабочих частот диполя расширяется, а сама антенна становится гораздо компактнее. Как и в случае кривой Кох, эффективными являются лишь первые 5–6 шагов: чтобы сгибать провод дальше придется уменьшить его диаметр, а это повысит сопротивление антенны и приведет к потере усиления [2, 3].

При комплексном применении фрактальных технологий можно уменьшить расход материалов и массу антенных систем, особенно, если излучатели объединены в антенную решетку. В последнем случае миниатюризация антенных элементов на фрактальной основе позволяет существенно снизить их взаимное влияние за счет увеличения межэлементного зазора. Другой эффект, получаемый вследствие компактности фрактальных излучателей в антенных решетках, состоит в возможности более плотной упаковки антенных элементов в интересах расширения сектора сканирования.

Таким образом, при применении антенн фрактального типа в беспроводных широкополосных сетях позволит обеспечить высокую скорость и стабильность. Также эти антенны обладают уникальными электродинамическими характеристиками, а именно: широкополосностью, повторяемостью пропускных полос в частотном диапазоне, что существенно расширит радиус действия беспроводных систем широкополосного доступа за счет устойчивой зоны покрытия, повысить эффективность как базовых терминалов, так и оконечного оборудования клиента, за счет более высокого коэффициента усиления по сравнению с базовым.

Библиографический список

1. **Построение** сверхширокополосных излучателей с применением интегрированных печатных волноводов телевидения / А. С. Колмыкова, О. А. Белоусов, Р. Ю. Колмыков, А. И. Дякин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4(66). – С. 214 – 220.

2. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.

3. **Чернышова, Т. И.** Математическое моделирование метрологической характеристики блока аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 589 – 594.

Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»

УСТРОЙСТВО ЕМКОСТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ

Д. Р. Таипова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева

Оперативный контроль токопроводящих покрытий (ТПП) топливных баков ракетно-космических аппаратов является важной задачей, связанной с проблемами их безопасной эксплуатации. Для предотвращения накопления статического электричества на теплоизоляцию топливного бака наносится слой ТПП, защищенный лакокрасочным покрытием. Скапливаясь на дефектных участках ТПП, локальные заряды статического электричества могут иметь потенциал отличный от потенциала основной части покрытия, что может привести к образованию разрядной искры. При утечке компонентов топлива в месте дефекта возникает взрывоопасная ситуация.

Для решения поставленной задачи было разработано устройство емкостной дефектоскопии ТПП, схема которого приведена на рис. 1. Принцип работы устройства заключается в следующем: позиционер перемещает платформу с расположенными на ней плоскими электродами вдоль ТПП. Электроды образуют с ТПП конденсаторы, емкость которых измеряется блоком измерения емкости [1]. При отсутствии дефектов емкость электродов с ТПП должна быть одинакова, в реальном случае емкости различаются из-за разницы площади измерительных электродов, наклона платформы и других факторов. Для поиска границы дефекта эффективно использовать отношение емкости первого и второго по ходу движения измерительного электрода. В простейшем случае емкость можно определить по формуле:

$$C = \varepsilon\varepsilon_0 S/d, \tag{1}$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость вещества между подвижным электродом и контролируемым токопроводящим покрытием; ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость; S – площадь перекрытия поверхностей электродов; d – расстояние до контролируемого токопроводящего покрытия. Отношение емкостей двух соседних электродов будет зависеть от d и ε:

$$C_2/C_1 = S_2/S_1. \tag{2}$$

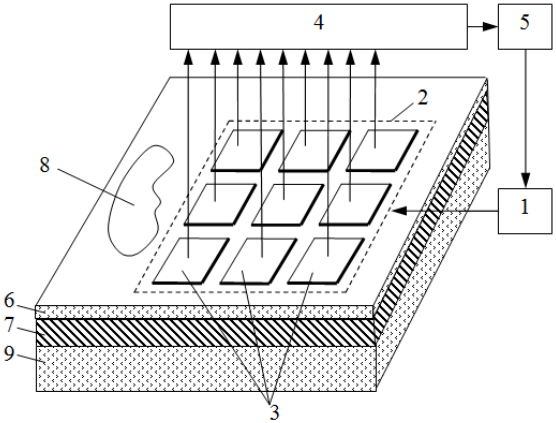


Рис. 1. Устройство емкостной дефектоскопии топливных баков:
1 – позиционер; *2* – платформа; *3* – измерительные электроды;
4 – блок измерения емкости; *5* – блок обработки; *6* – слой защитного покрытия;
7 – слой токопроводящего покрытия; *8* – дефект; *9* – диэлектрический материал

При перемещении платформы над дефектом уменьшается емкость первого электрода, что сказывается на отношении C_2/C_1, блок обработки по изменению отношения фиксирует границу данного дефекта и передает координаты оператору. Для дополнительного контроля по ходу движения установлен третий электрод, тогда отношение емкостей C_3/C_2 будет с некоторым запаздыванием повторять отношение C_2/C_1, что используется для повышения надежности в созданном устройстве.

Наличие трех измерительных электродов, расположенных перпендикулярно направлению движения, повышают скорость поиска дефекта. Дополнительным преимуществом использования матрицы электродов является возможность вычисления наклона платформы относительно ТПП на неповрежденных участках и использование данной информации для корректировки измерений. Устройство позволяет выявлять дефекты ТПП, в том числе под слоем защитного покрытия, под которым визуально определить дефект невозможно.

Библиографический список

1. **Пат.** 175976 Российская Федерация МПК G01N27/24 Устройство контроля целостности токопроводящего покрытия, нанесенного на диэлектрический материал / Борминский С. А., Скворцов Б. В., Самсонов А. С. ; патентообладатель : Самарский университет. – заявл. 18.07.2017 ; опубл. 25.12.2017, Бюл. № 36.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента С. А. Борминского

ОБЩАЯ ЗАДАЧА СИНТЕЗА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

И. В. Тюрин, Р. А. Токарев, И. Ю. Кошелев, Р. О. Дементьев

Тамбовский государственный технический университет

Разработка автоматизированной системы энергосберегающего управления (АСЭУ) для MIMO-систем связана с решением задач синтеза энергосберегающих управляющих воздействий [1], состав и взаимосвязь этих задач применительно к многомерным тепловым технологическим объектам с электронагревом показан на рис. 1.

Рис. 1. Состав и взаимосвязь задач синтеза энергосберегающего управления

Общая задача синтеза энергосберегающего управления (ЭУ) применительно к конкретной модели задачи энергосберегающего управления (ЗЭУ), представленной кортежем $<M, F, S, C>$, где M – модель, F – функционал, S – стратегия управления, а C – ограничения, формулируется так. На основании результатов полного анализа оптимального управления в заданном интервале вероятного изменения компонентов массива R в реальных режимах эксплуатации печи нужно определить все допустимые разновидности функций программного управления и выражения для оценки параметров ЭУ, т.е. разработать алгоритмы функционирования АСЭУ.

В качестве исходных данных рассматриваются:

– модель ЗЭУ $<M, F, S, C>$, включающая выражения для определения синтезирующих переменных, формулы расчета для дефиниции границ областей видов ЭУ, формулы для оценки параметров ЭУ, траекторий изменения фазовых координат и значений функционалов;

– интервалы допустимых отклонений параметров объекта $[b_н, b_в]$ $[c_н, c_в]$, границ управляющих воздействий $[u'_н, u''_н]$, $[u'_в, u''_в]$, начального и конечного значений вектора фазовых координат $[z'_{io}, z''_{io}], [z'_{iк}, z''_{iк}]$, $i = \overline{1, n}$, границы временного диапазона $[t'_o, t''_o], [t'_к, t''_к]$, границ запаздывания по каналу как управления $[\tau'_{1o}, \tau''_{1o}], [\tau'_{1к}, \tau''_{1к}]$, так и возмущения $[\tau'_{2o}, \tau''_{2o}]$, $[\tau'_{2к}, \tau''_{2к}]$.

Необходимо определить:

– все допустимые виды функций ЭУ для указанных исходных данных, и соотношения, позволяющие контролировать существование решения ЗЭУ и определять конкретный вид функции $u^*(t)$;

– формулы для оценки параметров ЭУ;

– траектории изменения фазовых координат;

– значения оптимизируемого функционала [2].

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта РФФИ № 17-08-00457-а «Разработка методологии построения интеллектуальных систем энергосберегающего управления многомерными технологическими объектами на множестве состояний функционирования».

Библиографический список

1. **Методологические** аспекты построения программно-аналитического комплекса проектирования систем энергосберегающего управления / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, А. А. Чуриков, И. И. Пасечников // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015 – Т. 21, № 4. – С. 542 – 547.

2. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013 – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

И. В. Тюрин, Р. А. Токарев, И. Ю. Кошелев, Д. В. Калашников

Тамбовский государственный технический университет

Алгоритмическое обеспечение решения прямых и обратных задач энергосберегающего управления (ЗЭУ) обычно рассматривается как некоторое вычислительное пространство V, представляющее собой «восьмерку»

$$V = (K, R, L, X; \varsigma, \mu, \pi, \Omega),$$

$$\varsigma: K \times R \to L; \mu: K \times L \to R; \pi: K \times L \to X; \Omega: K \times X \to L,$$

где K – множество моделей ЗОУ; R, L, X – множества значений соответственно исходных данных R, синтезирующих переменных L и результатов реше-

ния прямых задач X; ς, π – операторы решения прямых задач; μ, Ω – операторы, используемые для решения обратных задач.

Рассмотрим особенности вычислительного пространства применительно к программной и позиционной стратегиям [1, 2].

На множестве состояний функционирования H могут использоваться следующие виды программной стратегии:

– программная некорректируемая стратегия $S_{\text{пр.нк}}$, по которой рассчитанная оптимальная программа $u^*(\cdot)$ остается неизменной на всем временном интервале $[t_0, t_{\text{к}}]$ независимо от того, изменилось состояние функционирования h или нет;

– программная корректируемая стратегия $S_{\text{пр.к}}$, в данном случае программа $u^*(\cdot)$ при смене состояния функционирования h пересчитывается;

– программная частично-корректируемая стратегия $S_{\text{пр.ч.к}}$, здесь программа $u^*(\cdot)$ пересчитывается не при всех изменениях переменной h, а только в том случае, когда значение h перестает принадлежать некоторому заранее задаваемому подмножеству незначительно различающихся состояний функционирования.

Управляющее устройство (УУ), рассчитывающее и реализующее оптимальную программу, может использоваться совместно с обычными автоматическими регуляторами (АР). Структурные схемы систем энергосберегающего управления (СЭУ) с различными программными стратегиями приведены на рис. 1. На вход СЭУ подается массив исходных данных R, анализируя который микропроцессорное УУ по заложенному алгоритму определяет оптимальную программу изменения управляющего воздействия на объект (О) с учетом действующих на него возмущений (W).

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта РФФИ № 17-08-00457-а «Разработка методологии построения интеллектуальных систем энергосберегающего управления многомерными технологическими объектами на множестве состояний функционирования».

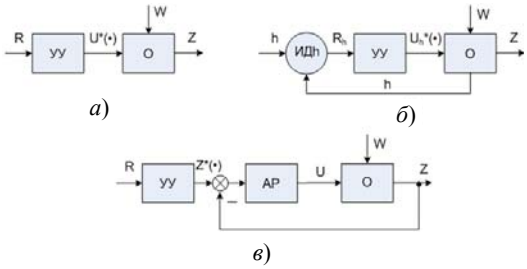


Рис. 1. Структурные схемы программных СЭУ:
а – с некорректируемой стратегией; *б* – с корректируемой стратегией (ИД*h* – идентификатор состояния функционирования *h*);
в – с программной стратегией и автоматическим регулятором

Библиографический список

1. **Методологические** аспекты построения программно-аналитического комплекса проектирования систем энергосберегающего управления / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, А. А. Чуриков, И. И. Пасечников // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015 – Т. 21, № 4. – С. 542 – 547.
2. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013 – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОГРАММОЙ СРЕДЕ LabVIEW

Н. Г. Чернышов, М. Ф. Диумесси, И. В. Зеленова, Э. Мукачана

Тамбовский государственный технический университет

Внедрение энергосберегающих технологий в хозяйственную деятельность как предприятий, так и частных лиц на бытовом уровне, является одним из важных шагов в эффективном развитии экономики. Одной из важнейших функций современных систем управления является функция мониторинга промышленных и хозяйственных объектов. С учетом особенностей территориального расположения подобных объектов и необходимости оперативной реакции на изменение их состояния, актуальной представляется задача удаленной передачи данных для оценки их состояния и расчета оптимального управления в реальном масштабе времени.[1, 2]

Рассмотрим решение данной задачи с использованием программной LabVIEW.

На рисунке 1 приведен пример реализованной системы удаленной передачи данных для последующей идентификации и экспорта полученных данных на автоматизированное рабочее место разработчика систем оптимального управления динамическими объектами [3, 4].

Взаимодействие компьютер – удаленный процесс предусматривает обращение с одного компьютера к процессу обработки данных, происходящему на удаленной связке контроллер-компьютер.

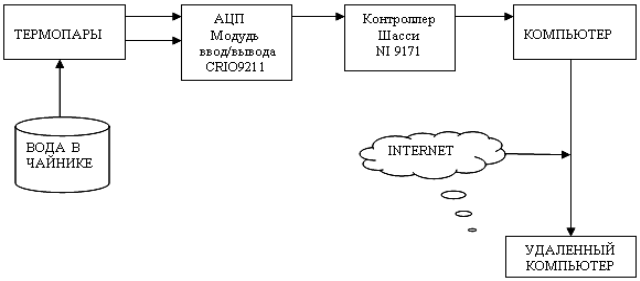


Рис. 1. Пример структурной схемы

При этом устанавливается логическая связь с процессом и проводится сеанс работы с ним. Результаты обработки данных визуализируются на компьютере, запустившем процесс и отправляются на автоматизированное рабочее место [5, 6].

С помощью программно-аппаратной платформы National Instruments и LabVIEW реализуется удаленная обработка данных в Toolbox для идентификации объектов. Для работы с LabVIEW в реальном времени необходимо установить специальную библиотеку NI Real-Time и использовать ее элементы.

Библиографический список

1. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.
2. **Селиванова, З. М.** Повышение точности информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Измерительная техника. – 2015. – № 9. – С. 45 – 48.
3. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.
4. **Белоусов, О. А.** Конструирование интеллектуальных микропроцессорных систем энергосберегающего управления динамическими объектами / О. А. Белоусов, Ю. Т. Зырянов, А. В. Петров // Энергобезопасность и Энергосбережение. – 2013. – № 3. – С. 15 – 21.
5. **Муромцев, Д. Ю.** Алгоритмическое и программное обеспечение энергосберегающего управления технологическими установками / Д. Ю. Муромцев // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – № 2.2(48). – С. 276 – 280.
6. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

Н. Г. Чернышов, Д. А. Федотов, И. Е. Карпенко

Тамбовский государственный технический университет

В данном проекте предлагается платформа для создания системы удаленного управления объектом.

Возможности системы:

− возможность провести идентификацию параметров модели динамики управляемого объекта [1];

– возможность провести синтез оптимальных управляющих воздействий [2];

– оперативное слежение за состоянием управляемого объекта;

– оперативный контроль качества работы объекта;

– сбор необходимой информации удаленно;

– исправление неполадок и внештатных ситуаций без необходимости выезда на объект [3].

Ядро платформы представлено одноплатным компьютером Raspberry Pi 3B, построенным на базе 4-ядерного процессора ARM Cortex-A53, который производит все основные вычисления и отдает команды контроллеру, осуществляющему непосредственное управление объектом [4].

Рис. 1. Структурная схема платформы

Наряду с этим, Raspberry Pi выступает в роли веб-сервера и осуществляет взаимодействие с пользователями посредством отображения веб-страниц на пользовательских устройствах. Пользователь в режиме реального времени может наблюдать за текущими параметрами объекта, производить идентификацию объекта и отдавать команды управления. Данный сайт имеет внешний IP-адрес и может иметь собственное доменное имя, что делает его доступным в пределах всей сети Internet [5].

Такая форма взаимодействия с объектом максимально расширяет круг устройств, имеющих возможность доступа к объекту [6], а гибкая масштабируемость платформы позволит адаптировать ее для широкого круга задач.

Библиографический список

1. **Селиванова, З. М.** Повышение точности информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Измерительная техника. – 2015. – № 9. – С. 45 – 48.

2. **Муромцев, Д. Ю.** Алгоритмическое и программное обеспечение энергосберегающего управления технологическими установками / Д. Ю. Муромцев // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – № 2.2(48). – С. 276 – 280.

3. **Белоусов, О. А.** Конструирование интеллектуальных микропроцессорных систем энергосберегающего управления динамическими объектами / О. А. Белоусов, Ю. Т. Зырянов, А. В. Петров // Энергобезопасность и Энергосбережение. – 2013. – № 3. – С. 15 – 21.

4. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.

5. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.

6. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПЛАТФОРМЕ NATIONAL INSTRUMENTS

Н. Г. Чернышов, М. Ф. Диумесси, И. В. Зеленова, Э. Мукачана

Тамбовский государственный технический университет

Анализ потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что большая часть потерь – до 90% – приходится на сферу энергопотребления. Под системой оптимального управления будем понимать совокупность технических, программных и информационных средств, обеспечивающую решение задач анализа и синтеза управления в динамических режимах работы объекта в реальном масштабе времени. Назначение системы заключается в реализации алгоритмов синтеза управляющих воздействий, минимизирующих энергопотребление динамических объектов.

Особенностью данной платформы является простая и удобная в построении систем управления разной сложности среда LabVIEW. Разработанная в данной среде программа оптимального управления может быть оперативно загружена и отлажена на технических средствах National Instruments [12].

Среда LabVIEW включает в себя набор подпрограмм виртуальных приборов, позволяющих конфигурировать, собирать и посылать данные на DAQ-устройства, функция которых – аналого-цифровое преобразование, цифро-аналоговое преобразование, цифровой ввод/вывод, управление счетчиками и таймерами. Каждое устройство имеет свой набор возможностей, у каждого устройства своя скорость обработки данных. Кроме этого имеется возможность отдельного конфигурирования каждого устройства, включая диапазоны изменения его параметров [3, 4].

На базе персонального компьютера и программно-аппаратной платформы National Instruments создается автоматизированное рабочее место разработчика систем оптимального управления динамическими объектами. Гибкость конфигурирования в среде LabVIEW системы управления позволяет использовать всего одно техническое устройство для множества конфигураций систем оптимального управления, в то время как в других средах потребуется значительное время для разработки соответствующих программ.

Идеологически LabVIEW очень близка к SCADA-системам, но в отличие от них в большей степени ориентирована на решение задач в области автоматизированных систем научных исследований. Это позволяет реализовать функции идентификации моделей объектов управления и по полученным данным сконфигурировать будущую систему управления. Кроме того, этот процесс можно автоматизировать [5, 6].

Таким образом программно-аппаратная платформа LabVIEW в совокупности с техническими средствами National Instruments значительно расширяет возможности разработки систем оптимального управления динамическими объектами и сокращает время на апробацию результатов научных исследований.

Библиографический список

1. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.
2. **Селиванова, З. М.** Повышение точности информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Измерительная техника. – 2015. – № 9. – С. 45 – 48.
3. **Синтез** цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEE802.11, IEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.
4. **Белоусов, О. А.** Конструирование интеллектуальных микропроцессорных систем энергосберегающего управления динамическими объектами / О. А. Белоусов, Ю. Т. Зырянов, А. В. Петров // Энергобезопасность и Энергосбережение. – 2013. – № 3. – С. 15 – 21.
5. **Муромцев, Д. Ю.** Алгоритмическое и программное обеспечение энергосберегающего управления технологическими установками / Д. Ю. Муромцев // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – № 2.2(48). – С. 276 – 280.
6. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

ГЕНЕРАЦИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО СИГНАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗА

А. А. Юдин, И. И. Кочегаров, Д. В. Коршунов, Д. Х. Нуржанов, Е. А. Кузина

Пензенский государственный университет

Описывается система многоканальной генерации сигналов с применением цифрового синтеза. Для решения поставленной задачи наиболее оправданным и выгодным является использование DDS-генераторов, или микросхем прямого цифрового синтеза. Их преимущества: высокая точность получаемых частот; возможность получить очень малый шаг перестройки (менее 0,00001 Гц для некоторых устройств); высокая скорость перестройки от одной частоты к другой, не зависящая от разницы между ними; точность частоты синтезируемого сигнала полностью определяется точностью задающего тактового генератора; удобство управления через цифровые интерфейсы.

В ходе исследования подходящих вариантов выбран генератор AD9833 фирмы Analog Device. Он обладает следующими особенностями: программируемые частота и фаза сигнала; малое энергопотребление (12,65 мВт при напряжении питания 3,3 В); диапазон частот (0…25 МГц при частоте тактового генератора 25 МГц); разрешение задаваемой частоты 0,1 Гц при частоте тактового генератора 25 МГц; возможность синтеза синусоидального, треугольного и прямоугольного сигнала; минимальное количество необходимых внешних компонентов; управление через SPI-интерфейс; цена около 270 рублей на 25.03.18.

Для управления DDS – генератором и организации связи с компьютером необходимо использование микроконтроллера. Среди множества существующих вариантов для создания макетного образца был выбран микроконтроллер STM32F407VG производства STMicroelectronics. Его преимущества: наличие официальной отладочной платы от производителя, позволяющей собрать макет с минимальными трудозатратами, и облегчающей модификации при разработке; высокая производительность и большое количество встроенных периферийных модулей; встроенный USB-интерфейс, упрощающий организацию обмена данными с компьютером; хорошая переносимость кода между другими микроконтроллерами производства STMicroelectronics, в частности возможность легко перенести код на более дешевые микроконтроллеры серии STM32F1xx (цена от 30 рублей за штуку).

В настоящее время существует достаточно большое количество систем разработки программ для микроконтроллеров на ядре ARM (именно это ядро лежит в основе микроконтроллеров серии STM32). Наиболее распространенные – это Keil uVision, IAR Embedded Workbench, CooCox CoIDE. После анализа существующих систем для разработки программного кода для микро-

контроллера была выбрана среда Keil uVision 5. Также для удобного конфигурирования периферии микроконтроллера и настройки тактирования была применена бесплатная программа STM32 CUBE MX от STMicroelectronics. В результате использования данных программно-аппаратных средств была разработана система многоканальной генерации сигналов с применением цифрового синтеза.

Библиографический список

1. **Белов, А. Г.** Программное обеспечение среды android для подготовки инженера-конструктора электронных средств / А. Г. Белов, И. И. Кочегаров // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 1. – С. 275 – 277.
2. **Гришко, А. К.** Синтез оптимальной структуры сети распределенных систем разнотипных радиоэлектронных средств / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, М. К. Танатов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – Т. 1. – С. 299 – 301.
3. **Кочегаров, И. И.** Компьютерный комплекс исследования основных функций микроконтроллеров /И. И. Кочегаров, В. А. Трусов // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2006. – Т. 1. – С. 192 – 194.
4. **Алгоритм** выявления латентных технологических дефектов фотошаблонов и печатных плат методом оптического допускового контроля / И. И. Кочегаров, И. В. Ханин, Н. К. Юрков, А. В. Григорьев // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. – 2014. – Т. 2. – С. 54.
5. **Программные** средства анализа и моделирования температурного режима печатных плат / Д. В. Воробьев, М. В. Иванкова, И. Д. Граб и др. // Современные информационные технологии. – 2014. – № 19. – С. 128 – 135.

ДИНАМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СОСУДОВ

Н. И. Агафонова, К. С. Савинова, Д. В. Болдырев

Тамбовский государственный технический университет

Разработан динамический способ диагностики функционального состояния периферических сосудов.

Цель данной работы – повышение точности формирования сигнала колебания кровотока в ДФП.

Объектом исследования является функциональное состояние кровоснабжения пальцев рук, предметом исследования – динамический способ диагностики состояния кровоснабжения пальцев рук.

Наиболее близким решением, принятым за прототип, является способ визуализации колебаний кожного кровотока в конечностях. Задачей настоящего решения является визуализация колебаний кожного кровотока в конечностях с помощью регистрации динамики распределения температуры кожи (динамической термограммы) тепловизионной камерой, математической обработки температурных данных и преобразования термограмм в карты распределения колебаний кровотока [1 – 3].

Технический результат заключается в увеличении исследуемой площади поверхности объекта и повышении точности определения параметров периферического кровотока температурными методами за счет использования новой модели распространения температурного сигнала в биологической ткани и визуализации пространственных изменений колебаний кровотока.

В соответствии с используемой моделью колебания кровотока генерируют тепловую волну, распространяющуюся с некоторой глубины к поверхности кожи. Для волны характерно затухание и конечная скорость распространения. Поэтому между сигналами колебаний температуры и кровотока может быть установлена связь посредством анализа колебаний на отдельных частотах. При этом частотные зависимости задержки и затухания температурного сигнала относительно сигнала кровотока будут характеризовать свойства кожи.

Основными недостатками выбранного прототипа являются:

– колебания точки наблюдения за счет непроизвольных движений пальцев руки;

– искажение информации о значениях температуры за счет автоматической нормировки яркости кадров при резком возрастании температуры ДФП;

– отсутствие системы подавления неинформативных колебаний температуры ДФП.

Второй недостаток возникает за счет увеличения температуры руки при ее нагреве в более теплом помещении, в этом случае температура руки ($t_{\text{р}}$)

становится больше температуры фона ($t_ф$), после нормировки наибольшая температура руки стремится к максимуму, возникает эффект уменьшения температуры фона. Например, в момент времени t_1 $t_ф$ составляла 25°, максимум $t_р = 27°$, в момент времени t_2 максимум $t_р = 30°$.

После коррекции получаем сглаженный и менее резкий сигнал.

Для устранения влияния погрешности коррекции смещения было произведено усреднение полученного сигнала A_k методом скользящего среднего. Необходимость этой операции обусловлена тем, что алгоритм коррекции смещения имеет погрешность в 1 пиксель. В результате возникают паразитные колебания сигнала, которые сглаживаются при выполнении операции суммирования.

Библиографический список

1. **Федюкович, Н. И.** Анатомия и физиология человека / Н. И. Федюкович. – Ростов н/Д. : Феникс, 2003. – С. 209–210.
2. **Пат.** 2405416 Российская Федерация, МПК[51]A61B5/01. Способ визуализации колебаний кожного кровотока в конечностях / Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Протопопов А. А., Сагайдачный А. А. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского». – № 2014104428/14 ; заявл. 10.02.2014 ; опубл. 10.04.2015
3. **Смирнов, И. В.** Функциональная диагностика. ЭКГ, реография, спирография / И. В. Смирнов, А. М. Старшов. – М. : Эксмо, 2008. – С. 158.

СОЗДАНИЕ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА НА БАЗЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ Т-ЗУБЦА ИЗ КАРДИОСИГНАЛА

Д. И. Андрианов

Тамбовский государственный технический университет

Электрокардиограмма (ЭКГ) представляет собой запись электрических потенциалов активности сердца, снятую с одного или нескольких отведений. В нормальной кардиограмме выделяют несколько элементов: Р-зубец, отражающий процесс деполяризации правого и левого желудочка, QRS-комплекс, который отражает процесс деполяризации желудочков и Т-зубец, характеризующий процесс конечной реполяризации миокарда желудочков (рис. 1, *а*).

Особое диагностическое значение имеет зубец «Т». Трансформация данного зубца чаще всего связана с нарушением кровоснабжения миокарда, возникающего из-за поражения сосудов атеросклеротическими наростами, иначе, ишемической болезнью сердца (ИБС). По данным Всемирной Организации Здравоохранения смертность от ИБС на территории Российской составляет 28,9%, что в абсолютных цифрах составляет 385,6 человек на

100 тысяч населения в год. Следовательно, очень важно вовремя диагностировать отклонения Т-зубца.

Для увеличения эффективности оценки параметров Т-зубца предлагается применение непрерывного вейвлет-преобразования (CWT). Пусть S – сигнал и ψ – вейвлет. При непрерывном преобразовании вейвлет-коэффициенты сигнала S, соответствующие масштабному коэффициенту a и положению b, определяются формулой (1).

$$CWT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)\psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right)dt. \quad (1)$$

Наиболее подходящим вейвлетом для выделения Т-зубца является биортогональный вейвлет «bior1.5» (рис. 1, *б*). Данный вейвлет с большой точностью, порядка 98…99%, может определить начало, пик и смещение Т-зубца.

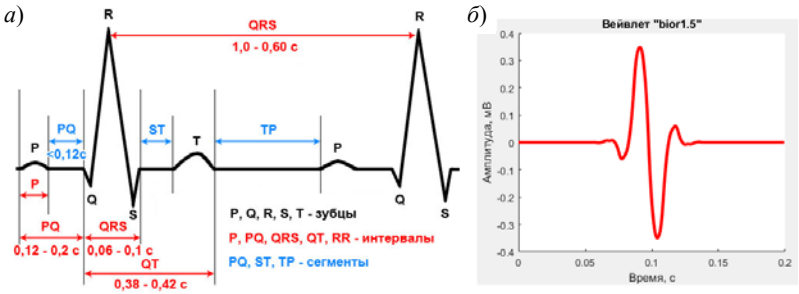


Рис. 1. Элементы кардиограммы (*а*), вейвлет «bior1.5» (*б*)

Каждый масштаб вейвлета a соответствует определенной частоте просмотра сигнала f, которая определяется формулой (2).

$$f = \frac{Frfs}{a}, \quad (2)$$

где Fr – центральная частота вейвлета; fs – частота дискретизации сигнала.

Так, для выделения пика «Т» был подобран масштаб вейвлета равный 41. Очищенный от шумов сигнал проходит через полосовой вейвлет-фильтр. После чего восстанавливается по полученным вейвлет-коэффициентам и выводиться на экран (рис. 2).

Методы вейвлет-анализа могут успешно использоваться для сглаживания и удаления шума кардиосигнала, что необходимо для первичной обработки сигнала и удобства дальнейшей обработки сигнала. Кардиосигнал, очищенный от шума, выглядит более наглядно, и его объем составляет от 10 до 5% от исходного сигнала [1].

Таким образом, на базе вейвлет-преобразования можно синтезировать частотный фильтр, который будет пропускать только частоты, соответствующие Т-зубцу. Благодаря этому возможно более точно оценивать длительность зубца, его локализацию и многое другое, тем самым выявлять его отклонения от нормы и на ранних стадиях диагностировать развитие ИБС и других заболеваний.

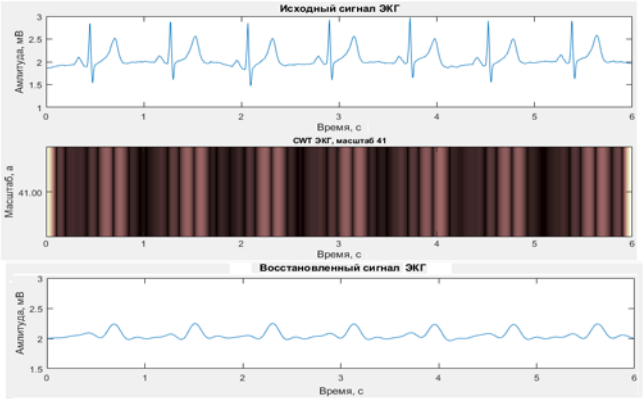


Рис. 2. Выделение Т-зубца из кардиосигнала

Библиографический список

1. **Солдатова, В. Р.** Информационная система, повышающая эффективность работы врача – кардиолога / В. Р. Солдатова, В. В. Дубровин // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : тез. докл. 3-й Междунар. конф. с элементами научной школы. Тамбов. – 2016. – С. 427–428.

2. **Смолонцев, Н. К.** Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. К. Смолонцев. – М. : ДМК Пресс, 2014. – 428 с.

ФИЛЬТРАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ЗУБЦОВ КАРДИОГРАММЫ НА БАЗЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Д. И. Андрианов, Н. А. Неверов

Тамбовский государственный технический университет

С развитием методов цифровой обработки сигналов и возрастанием вычислительной способности процессоров существенную долю задачи фильтрации поступающих сигналов можно переложить с аппаратной части на программную. Одним из эффективных инструментов цифровой обработки является вейвлет-анализ.

Методы вейвлет-анализа могут успешно использоваться для сглаживания и удаления шума кардиосигнала, что необходимо для дальнейшей обработки сигнала. К тому же, кардиосигнал, очищенный от шума, выглядит более наглядно, и его объем составляет от 10 до 5% от исходного сигнала.

Но главное, что с помощью вейвлет-анализа возможно распознавать образы, т.е. выделять конкретные зубцы на электрокардиограмме.

Выделение конкретного зубца электрокардиограммы позволяет с более высокой точностью оценить его параметры – продолжительность, амплитуду,

форму. К тому же это существенно облегчает анализ с помощью автоматизированных средств.

На базе вейвлет-анализа были разработаны алгоритмы, которые позволяют выделять из ЭКГ-сигнала зубцы P, T.

Вейвлет-преобразование можно использовать как полосовой фильтр, т.е. выполнить разложение сигнала только на определенном диапазоне масштабов (аналогично диапазону частот) соответствующих конкретному зубцу. Для повышения точности распознавания и передачи истинных параметров зубцов P и T на неплавающей изолинии, алгоритм был усложнен и заключается из нескольких этапов:

1. Выполнение непрерывного вейвлет-преобразования с использованием биортогонального вейвлета (bior1.5) [2].

2. Нахождение точек максимума ЭКГ-сигнала, выборка из них точек, соответствующих систоле.

3. Обнуление коэффициентов вейвлет-анализа на всех масштабах в окрестностях точек максимума систол, чтобы удалить комплекс QRS, вносящий в сигнал наибольшее количество энергии, и возникающих на всех масштабах разложения, выделить образ зубца T [1].

4. Обнуление низкоэнергетических и отрицательных коэффициентов преобразования на масштабах разложения в диапазоне от 32 до 42 для устранения дрейфа нулевой линии и увеличения детализации формы зубцов.

Результат распознавания P и T-зубцов представлен на рис. 1.

Таким образом, на основе вейвлет-преобразования был синтезирован фильтр для выделения зубцов кардиосигнала. Благодаря этому возможно более точно оценивать их параметры, как визуально, так и с помощью автоматизированных средств – тем самым выявлять отклонения от нормы и на ранних стадиях диагностировать развитие сердечных заболеваний.

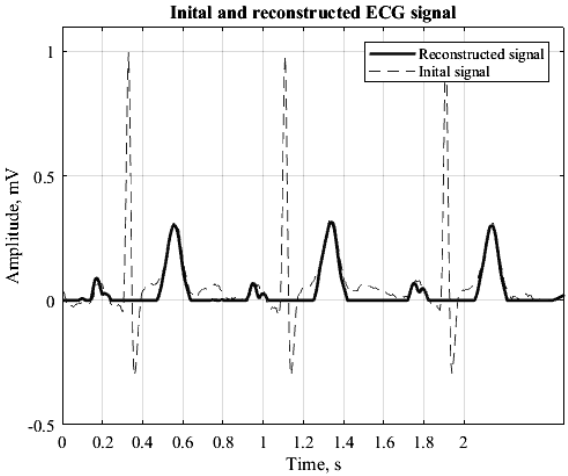


Рис. 1. Сигнал после обработки (сплошная линия) на фоне исходной электрокардиограммы (пунктирная линия)

Библиографический список

1. **Солдатова, В. Р.** Информационная система, повышающая эффективность работы врача-кардиолога / В. Р. Солдатова, В. В. Дубровин // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : тез. докл. 3-й Междунар. конф. с элементами научной школы. Тамбов. – 2016. – С. 427–428.
2. **Дубровин, В. И.** Нейроинформатика и интеллектуальные системы / В. И. Дубровин, Ю. В. Твердохлеб // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – Запорожье : Изд-во Запорожский национальный технический университет. – 2011. – С. 91 – 98.

ПРОБЛЕМЫ ПРИ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Н. В. Венцерова, Т. М. Тымчук

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время получили широкое распространение аппаратные методики, связанные с влиянием на центральную нервную систему магнитного поля и электрического тока [1 – 5]. Одна из таких методик имеет название «электростимуляция мозга» – это вид электротерапии, который предполагает применение электрического тока для стимуляции нейронов головного мозга. Используется в нейрохирургии, экспериментальных исследованиях и лечении психологических расстройств.

Цель работы заключается в кратком описании проблем, которые возникают при электростимуляции головного мозга и их решениях.

Данный метод основан на действии микротоков с различной сложной последовательностью формирования импульсов. Они воздействуют не на кору головного мозга, а на участки компактного расположения нервных проводников, т.е. ствол мозга. В результате нормализуются биологические ритмы мозга и обмен медиаторами в организме: ацетилхолином, серотонином, энкефалинами и эндорфинами. Что способствует нормализации ноцицептивной чувствительности, т.е. способности к адекватному восприятию различных видов боли, снимается напряжение и стресс.

Однако, стоит относиться к этому методу с осторожностью, так как существует много ошибок «по невнимательности», что может привести скорее к нежелательным результатам, поэтому важно полностью соблюдать технику безопасности. Побочных эффектов нейростимуляция за собой не влечет, не способствует привыканию. Поэтому основной проблемой метода является бессистемность клинического применения. В некоторых лечебных учреждениях ТЭС-терапия применяется очень широко, в некоторых вообще не встречается. Клиническая практика почти не консолидируется и не передается между врачами. Метод мало распространен за рубежом. Отчасти это объясняется слабой распространенностью физиотерапии за рубежом.

Чтобы электростимуляция не принесла отрицательный эффект, очень важно соблюдать технику безопасности. Ведь стимуляция «не тех» зон может не дать желаемый результат, или же привести к эпилепсии. Так же важный аспект, к которому нужно отнестись с вниманием – это время продолжительности процедуры. Рекомендованное время – 20 – 30 минут для достижения благоприятного эффекта. Решением данной проблемы может служить разработка шлема, с уже размещенными на нем электродами, и возможностью фиксации их на голове по индивидуальным размерам. Оснащенным таймером, для установки точного времени воздействия. Благодаря этому данную процедуру можно будет проводить даже в домашних условиях.

Подводя итог из вышесказанного, можно точно сказать, что эффект от электростимуляции довольно высокий. Рецидивов после лечения не наступает и при правильном применении она будет доступна даже дома.

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск 52. – С. 106 – 111.
3. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.
4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
5. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

СПОСОБ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОДКОЖНЫХ ВЕН В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ

Е. А. Егорова, А. С. Лисицын

Тамбовский государственный технический университет

Задачей предлагаемого способа является повышение безопасности и точности за счет бесконтактного получения информации в инфракрасном диапазоне спектра излучения охлажденной поверхности после притока к ней теплой крови [1, 2].

Опускание дистальной части конечности в воду, подогретую до +42 °С, вплоть до развития стойкой локальной тепловой гиперемии в условиях прекращения оттока крови по венам обеспечивает эффективное и безопасное повышение температуры крови в участке, от которого после восстановления оттока венозной крови в конечности теплая кровь начнет перемещаться в исследуемую холодную область и обеспечит визуализацию вен при тепловидении за счет усиления теплоотдачи.

Оголение исследуемой поверхности после эффективного нагревания дистальной ее части обеспечивает своевременное начало эффективного охлаждения исследуемой области за счет воздушной среды комнатной температуры. Прикладывание к оголенной поверхности пузыря со льдом вплоть до развития стойкой холодовой гиперемии обеспечивает эффективное и безопасное охлаждение исследуемой области, необходимое для последующей эффективной визуализации подкожных вен при заполнении их теплой кровью.

Вынимание конечности из горячей воды только после возникновения холодовой гиперемии в исследуемой области и одновременное удаление пузыря со льдом обеспечивает достижение максимальной разницы температур тканей в областях локальной гипо- и гипертермии без чрезмерного удлинения процедур термовоздействий.

Последующее укладывание и фиксирование конечности в положении, обеспечивающем визуальное наблюдение за всей исследуемой поверхностью, обеспечивает высокую точность визуализации вен.

Использование тепловизора в качестве аппарата лучевой диагностики обеспечивает высокую безопасность способа за счет бесконтактного метода исследования, а также за счет возможности получения цветного изображения на экране кинокамеры, на экране компьютера.

Регистрация усиления кровотока в венозном русле, осуществляемая с помощью тепловизора в инфракрасном диапазоне спектра излучения при прекращении механического сдавливания, обеспечивает своевременное выявление начинающегося согревания подкожных вен, происходящего при заполнении их порцией теплой крови, движущейся из дистальной части конечности в сторону сердца через холодную область. Своевременное выявление начала согревания вен в холодной области необходимо для последующего усиления внимания к оценке ее состояния в инфракрасном диапазоне спектра излучения и для подготовки к точной и качественной регистрации в наиболее информативный момент, обеспечивающий наиболее качественную визуализацию подкожных вен в исследуемой области.

Для качественной визуализации вен в инфракрасном диапазоне спектра излучения необходимо наличие существенной разницы температурных режимов вен и тканей, их окружающих. Такая разница температур может быть создана путем разнонаправленных локальных термовоздействий на них, а именно – путем предварительного нагревания дистального отдела конечности и крови, находящейся в нем, с одной стороны, и с другой стороны, путем отсроченного охлаждения кожи, подкожно-жировой клетчатки и вен, заполненных кровью и расположенных в исследуемой области. Дело в том, что при восстановлении от-

тока венозной крови в исследуемой области происходит автоматическая замена холодной крови на теплую, что в считанные секунды согревает вены, но не успевает согреть всю подкожно-жировую клетчатку и кожу предплечья в силу существенного превалирования их общего количества и площади над венозной сетью.

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ

В. К. Андрей

Тамбовский государственный технический университет

Изобретение относится к радиоэлектронике и может быть использовано для измерения температуры и разности температур дистанционным беспроводным способом. Преобразователь содержит генератор, источник питания и чувствительный элемент. Источник питания является чувствительным элементом и содержит термобатарею, соединенную с первым входом преобразователя напряжения, первый выход которого со стабилизированным напряжением подключен к высокочастотному генератору. Второй выход с напряжением, изменяющимся пропорционально величине температурных изменений, – к первому входу низкочастотного генератора, причем низкочастотный генератор является модулятором для высокочастотного генератора, выход которого соединен с антенной. Источник питания дополнительно содержит также дифференциальную термопару, подключенную ко второму входу преобразователя напряжения, третий выход которого связан со вторым входом низкочастотного генератора. Технический результат – расширение функциональных возможностей устройства путем дистанционного беспроводного измерения одновременно температуры и разности температур контролируемого объекта.

Преобразователь температуры состоит из источника питания, который содержит термобатарею и дифференциальную термопару, связанные соответственно с первым и вторым входами преобразователя напряжения, первый выход которого подключен к высокочастотному генератору, второй выход – к первому входу низкочастотного генератора, третий выход – ко второму входу генератора, выход которого соединен с входом модуляции генератора, при этом выход генератора связан с антенной.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является возможность дистанционно через радиоканал передавать одновременно информацию о величине температуры и разности температур контролируемого объекта.

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск 52. – С. 106 – 111.
3. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.
4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
5. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.
6. **Семенов, Д. Д.** Основные тенденции обработки информации в приборах для измерения параметров дыхательной системы / Д. Д. Семенов, Т. А. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 2 : в 2 т. ; ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2. – Т. II.
7. **Гундарцова Е. С.** Применение GMR-датчиков в медицине / Е. С. Гундарцова, Т. А. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 2 : в 2 т. ; ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2. –Т. II.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Ф. Е. Карпенко

Тамбовский государственный технический университет

По способу измерения различают инвазивные и неинвазивные методы регистрации АД. Инвазивное определение применяется в стационарных условиях путем введения в артерию пациента зонда с датчиком давления. Только данный метод дает правдивые результаты у пациентов с низким сердечным выбросом, у находящихся в критическом состоянии, когда любой непрямой метод измерения артериального давления дает ложные результаты с отклонениями до 30…60 мм рт. ст. Поэтому использование манжетных (компрессионных) способов измерения АД у данных пациентов нежелательно.

Инвазивный метод является, с одной стороны, наиболее объективным, с другой, и наиболее сложным с технической точки зрения. Кроме технической сложности измерения у метода есть и некоторые другие недостатки: во-первых, он требует постоянного наблюдения из-за опасности осложнений, во-вторых, введение катетера в сосуд меняет картину течения крови.

Неинвазивные методы измерения АД получили наибольшее распространение в медицинской практике. В последнее время рынок приборов для измерения различных гемодинамических параметров, в том числе АД, растет. К традиционно применяющимся с этой целью тонометрам (ртурным, аускультативным, осциллометрическим) добавляются устройства, использующие фотоплетизмографический принцип регистрации пульсовой волны, а также другие варианты манжет, например гидроманжета.

Все тонометры можно разделить на две группы: механические и электронные (цифровые). Механические приборы бывают ртутными и анероидными.

Анероидными (мембранными) тонометрами определение АД производится по методу, предложенному в 1905 г. Н. С. Коротковым. Именно он в настоящее время признан ВОЗ как референтный метод неинвазивного определения АД.

Важными преимуществами метода является более высокая устойчивость к нарушениям ритма сердца и движениям руки во время измерения. Недостатками – высокая чувствительность к шумам в помещении, помехам, возникающим при трении манжеты об одежду, а также необходимость точного расположения микрофона над артерией [1 – 4].

В 80% электронных автоматических и полуавтоматических тонометров применяется осциллометрическая методика. Ее преимуществами перед аускультативной являются большая устойчивость к шумовому воздействию, перемещению манжеты по руке, возможность измерения через тонкую одежду, а также при наличии выраженного «аускультативного провала» и слабых тонах Короткова. В современных приборах имеется возможность регистрации уровня АД в фазе компрессии, когда отсутствуют местные нарушения кровообращения, появляющиеся в период стравливания воздуха.

Для уменьшения погрешности измерения АД у «сердечников» разработаны усовершенствованные автоматические измерители, например, с системой fuzzy logic, преобразующей пульсовую волну, или с одновременным использованием аускультативного и осциллометрического методов.

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

2. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск 52. – С. 106 – 111.

3. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов,

И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.

4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭХОКАРДИОГРАФИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

К. Н. Коновалова

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время практически 60% смертей приходятся на заболевания сердечно-сосудистой системы. Люди, которые подвержены высокому риску таких патологий, обязательно должны проходить прицельное медицинское обследование для раннего выявления и предупреждения осложнений. К одним из таких процедур относится эхокардиография сердца. Это метод ультразвукового исследования, который позволяет оценить работу сердца и его клапанного аппарата, своевременно диагностировать какие-либо изменения [1 – 3].

Контрастная эхокардиография используется для обнаружения структур, которые плохо видны при обычном исследовании (верхняя и нижняя полая вены, нисходящая аорта, выносящий тракт правого желудочка, легочные артерии), а также для выявления внутрисердечного сброса крови, поражений, вызывающих регургитацию, и сложных врожденных аномалий сердца. Для контрастирования вводят в вену физиологический раствор, содержащий микропузырьки, которые получают, несколько раз перекачивая 8 мл раствора из одного 10-миллилитрового шприца в другой через силиконовую трубку, соединенную трехходовым краном с внутривенной магистралью. Содержащий пузырьки физиологический раствор под давлением струйно вводится в венозный катетер.

При этом регистрируется картина сердца в четырехкамерной позиции или ультразвуковой луч направляется на подозрительный участок. Апикальная или субкостальная четырехкамерная позиция позволяет обнаружить даже небольшое количество проходящих по шунту справа налево пузырьков, а также обратный поток слева направо, который возникает при дефекте в перегородках и уменьшает плотность пузырьков в правых камерах сердца.

Для лучшего изучения полости левого желудочка и митрального клапана датчик устанавливают таким образом, чтобы раскрытие створок митрального клапана и передне-задний размер левого желудочка были максимальными. Для изучения аорты и аортального клапана несколько изменяют положение датчика так, чтобы диаметр корня аорты и ее восходящего отдела были максимальными (рис. 1).

Апикальная четырехкамерная позиция позволяет одновременно визуализировать левый и правый желудочки (по их длинным осям), МЖП, левое и правое предсердия, межпредсердную перегородку, а также митральный и трехстворчатый клапаны. Эта позиция используется для исследования левых и правых отделов сердца, количественной оценки сократимости левого желудочка.

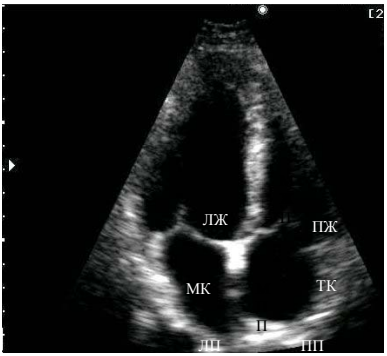


Рис. 1. Эхокардиограмма (апикальная позиция, сечение по длинной оси):
ПЖ – правый желудочек; ЛЖ – левый желудочек; ЛП – левое предсердие;
МЖП – межжелудочковая перегородка; МПП – межпредсердная перегородка;
МК – митральный клапан; ТК – трикуспидальный клапан

Библиографический список

1. **Mathematical** Modeling of Blood Flow with Partial Derivatives in Basilar Artery Bifurcation Region / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, Д. Липш, А. Баласco // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – № 1. – С. 50 – 58.
2. **Коновалова, К. Н.** Математическая модель функционирования сердечно-сосудистой системы / К. Н. Коновалова, С. В. Фролов // ВМПиПД. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 200 – 203.
3. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В. В. Крапивина

Тамбовский государственный технический университет

Мировые тенденции в области медицинского приборостроения в последние годы претерпели значительные изменения. В основном это вызвано необходимостью повышения качества диагностики, что приводит как к созданию новых высокоинформативных диагностических приборов, так и к совершенствованию традиционных технологий [1, 2]. Современная медицинская диагностика позволяет выявить заболевания на ранних стадиях, когда их можно вылечить в кратчайшие сроки. В подобных условиях одним наиболее информативных методов является томография, дающая намного больше информации о каждом элементарном объеме исследуемого объекта,

чем другие известные методы диагностики. Она позволяет проводить прижизненную диагностику заболеваний; а также, имеет возможность не только оценивать размеры и взаиморасположение органов, но и детально изучать их структурные особенности и даже некоторые физиологические характеристики.

Целью моего исследования и является изучение компьютерного томографа, его принципа работы, выявление первых аналогов КТ. В ходе анализа были подробно проанализированы тенденции развития компьютерных томографов от ЭМИ-сканера (I поколение) до современного оборудования: *I поколение* применялось только для исследования головного мозга. Это объяснялось как большим временем исследования, так и малым диаметром зоны томографирования до (24 см). Была одна трубка, направленная на один детектор.

На аппарате *II поколения* происходили обследования органов и тканей всего тела, были встроены несколько детекторов. Каждый слой обрабатывался около 4 минут.

III поколение компьютерных томографов ввело понятие спиральной компьютерной томографии. Одну томограмму стало возможным получить за 3…5 с при обороте системы трубка-детекторы на 360°. Диаметр исследуемой зоны увеличился до 40…50 сантиметров.

В *IV поколениях* предусматривалось наличие 1100…1200 неподвижных детекторов, расположенных по кольцу. Время получения изображения существенно сократилось до 0,7…1 с при повороте трубки на 360°.

Современный спиральный компьютерный томограф с длительностью спирали до 100 с, пространственным разрешением до 0,32 мм и обеспечением отличного диагностического качества изображения (специфицированного низкоконтрастного и высококонтрастного разрешения). Двойной ряд датчиков позволяет за одно сканирование получать два среза, что значительно убыстряет время исследования.

На данный момент существует четыре перспективных направления в развитии компьютерной томографии.

Снижение лучевой нагрузки. Увеличение беспокойства по поводу высоких уровней лучевой нагрузки стимулировало производителей сосредоточится на производстве технологий снижения дозы. Например, технология Philips, примененная в сканере Ingenuity, позволяет снизить нагрузку на 80% по сравнению с традиционными методами. Компания Siemens запустила инициативу по снижению дозы под названием SIERRA, которая направлена на снижение уровня нагрузки до величин ниже 2 мЗв.

Гибридные сканеры. Гибридные сканеры подразумевают комбинирование КТ с ПЭТ или ОФЭКТ. Таким образом, ПЭТ/КТ сканер предлагает точную пространственную локализацию функциональных изменений, а также их функциональной оценки.

КТ с двумя источниками энергии. Такие сканеры используют два источника энергии – высокомощный и маломощный. Данные, полученные при помощи маломощного источника, имеют высокую контрастность и высокий уровень шума. Данные с высокомощного источника имеют низкий уровень шума, который снижает контраст, следовательно, для получения изображений требуется меньшее число сканирований.

Мультидетекторные системы. В таких системах используется многомерный массив детекторов вместо линейного массива, как у обычных КТ. Это дает возможность получать большее количество срезов, и таким образом повышает скорость получения изображения. Данный метод позволяет увеличить качество изображения при увеличении скорости сканирования.

Существенными недостатки рентгеноскопии является дороговизна оборудования. На сегодняшний день КТ считается одним из самых важных радиологических методов диагностики. Томография широко применяется в медицине, биологии, дефектоскопии, геофизике, а также интенсивно развивается применение томографических методов в химии при создании и исследовании сверхчистых веществ.

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

2. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛА И АНАЛИЗ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

С. Г. Леньшин, Д. Е. Судаков

Тамбовский государственный технический университет

Сигнал, полученный на электроэнцефалографе, обрабатывается в программной среде Matlab с помощью библиотеки инструментов Wavelet Toolbox. Инструментарий позволяет анализировать, как частотное содержание сигналов изменяется с течением времени и обнаруживает изменяющиеся во времени шаблоны, общие для нескольких сигналов.

Вейвлеты являются узкополосными фильтрами и могут выделять из сигнала составляющие, частота которых соответствует их пику (эта частота называется центральной частотой вейвлета, на рис. 1 показаны: исходный сигнал, вейвлеты Добеши различной чистоты).

Для построения вейвлетов воспользуемся уравнением растяжения и вейвлет-уравнением:

$$\varphi(t) = \sqrt{2}\sum_k h_k \varphi(2t-k), \qquad \psi(t) = \sqrt{2}\sum_k g_k \varphi(2t-k).$$

Более того, изменение масштаба вейвлета приводит к пропорциональному изменению его центральной частоты:

$$F_a = \frac{\Delta F_c}{a}.$$

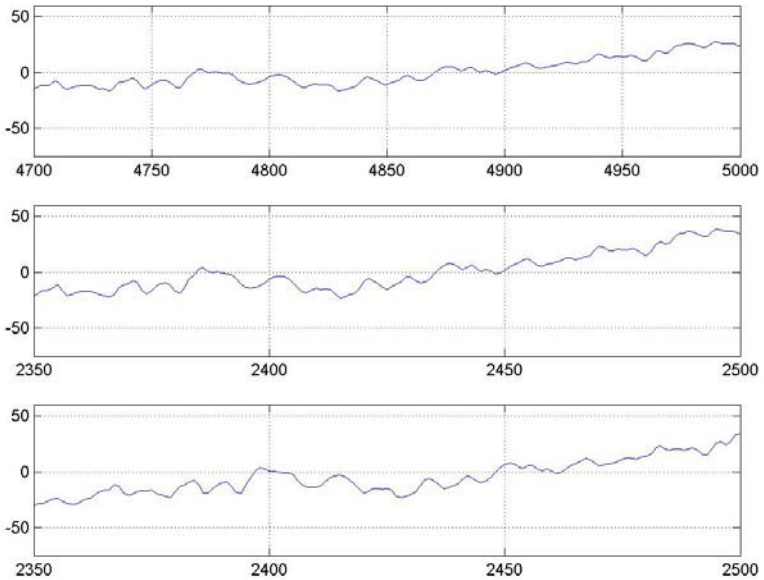


Рис. 1:
1 – Исходный сигнал; *2* – вейвлет Добеши 1 порядка; *3* – вейвлет Добеши 15 порядка

Таким образом, изменяя масштаб вейвлет-преобразования, можно перекрыть весь диапазон частот шума, исследуемого сигнала [1 – 4]. А за счет хорошей временной локализации вейвлет-преобразования можно получить информацию о спектре, буквально, о местах эмоционального всплеска или стационарного состояния (состояния спокойствия).

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

2. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск 52. – С. 106 – 111.

3. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.

4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

СПОСОБ ЧАСТОТНО-ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ НА ИЗЛУЧЕНИЕ И ПРИЕМ В МЕДИЦИНСКИХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СКАНЕРАХ

А. С. Лисицын, Е. А. Егорова

Тамбовский государственный технический университет

Способ относится к ультразвуковой медицинской диагностике и может быть использован в акушерстве и гинекологии, кардиологии, сосудистой диагностике, маммографии, онкологии, педиатрии и других медицинских областях, где применяются ультразвуковые исследования [1, 6]. Способ включает формирование амплитудно-фазового фронта излучаемого сигнала на апертуре многоэлементного широкополосного датчика для фокусировки при излучении на различные глубины исследуемой области, динамическую апертуру вместе с аподизацией при излучении и приеме, динамическую фокусировку при приеме, динамическую фильтрацию эхо-сигналов в зависимости от глубины при приеме. При этом при излучении на отдельные элементы многоэлементного датчика подают сложные сигналы возбуждения, каждый из которых является суммой простых сигналов с частотными спектрами, которые находятся в пределах полосы частот широкополосного датчика. Сигналы сдвинуты относительно друг друга по частоте так, что один из них соответствует нижним частотам, другой – средним частотам, а третий – высоким частотам в полосе частот датчика.

Амплитудно-фазовый фронт простых сигналов на высоких частотах формируют для фокусировки на малую глубину, фронт простых сигналов на средних частотах формируют для фокусировки на среднюю глубину, фронт простых сигналов на низких частотах формируют для фокусировки на большую глубину. При приеме в процессе динамической фокусировки по глубине осуществляют динамическую фильтрацию, выделяя на малой глубине сигналы на высоких частотах, на средней глубине – сигналы на средних частотах, а на большой глубине – сигналы на низких частотах.

В предлагаемом способе излучения и приема достигается необходимая фокусировка во всем диапазоне глубин в одном акте излучения-приема и не требуется формировать составной кадр из нескольких кадров, в каждом из которых фокусировка на излучения осуществляется в определенной зоне по глубине: ближней, средней и дальней.

Это позволяет в несколько раз повысить частоту кадров получаемого ультразвукового изображения при сохранении высокой разрешающей способности во всем диапазоне глубин.

Достигаемый технический результат заключается в улучшении поперечной разрешающей способности в указанном диапазоне глубин без снижения частоты кадров ультразвукового изображения в несколько раз.

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

2. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск 52. – С. 106 – 111.

3. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.

4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

5. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

6. **Семенов, Д. Д.** Основные тенденции обработки информации в приборах для измерения параметров дыхательной системы / Д. Д. Семенов, Т. А. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 2 : в 2 т. ; ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2. – Т. II.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСПИРАТОРНЫХ СИСТЕМ

А. В. Михина

Тамбовский государственный технический университет

Аппарат искусственной вентиляции легких (ИВЛ) применяется для поддержания нормального газообмена у пациентов, частично или полностью утративших функцию полноценного самостоятельного дыхания с целью насыщения крови кислородом и удаление из легких углекислого газа.

При проведении ИВЛ в легкие подается газовая смесь, состоящая из сжатого воздуха и кислорода. Газы высокого давления поступают от специальных баллонов или центральной разводки, сжатый воздух подается от компрессора, а кислород – от медицинского концентратора. После обогащения крови кислородом происходит отвод из легких углекислого газа. Таким образом, устройство имитирует естественную работу органов дыхания и помогает поддерживать жизнедеятельность пациентов с серьезными нарушениями дыхательной способности.

В области ИВЛ основная тенденция – переход от наиболее часто используемой сейчас управляемой ИВЛ к менее агрессивным методикам. Для них характерны различные сочетания навязываемого пациенту режима с самостоятельным дыханием, при этом аппарат выполняет не всю, а только часть затрачиваемой на вентиляцию работы, причем доля циклов управляемой ИВЛ может сильно варьироваться.

Индивидуализация вентиляции представляет собой важную проблему с точки зрения оптимальной установки необходимых параметров ИВЛ для данного

пациента и последующей поддержки этих параметров в условиях управляемой или вспомогательной вентиляции. Патологические проблемы в легких отличаются динамикой и быстрой изменчивостью показателей, что требует частого изменения показателей. Для этого требуется отследить динамику состояния пациента, оценить эти изменения и только после специалист изменяет параметры на аппарате. На практике проходит довольно значительное время от момента изменения состояния больного до нужного изменения параметров на аппарате ИВЛ.

Разработчики медицинской техники постоянно работают над созданием новых функций, которые бы сделали процесс ИВЛ максимально безопасным, простым и естественным. В настоящее время существуют такие режимы, как вспомогательная пропорциональная вентиляция (PAV) , поддерживающая адаптивная вентиляция (ASV) и перемежающаяся принудительная вентиляция (IMV) [1].

С помощью PAV-режима осуществляется точечная респираторная поддержка дыхательной системы в соответствии с наблюдаемыми в ней изменениями и отклонениями при минимальном вмешательстве в физиологические процессы и отсутствии угнетающего воздействия на естественное дыхание. Прибор полностью адаптируется к потребностям и состоянию пациента за счет регистрации дыхательных усилий и анализу сигнала воздушного потока, экспираторной константы времени и комплайнса легких.

В основу режима ASV заложены новые алгоритмы, позволяющие фиксировать признаки спонтанного активного дыхания и варьировать работу аппарата ИВЛ в зависимости от состояния пациента. Мониторинг общей и спонтанной частоты дыхания позволяет оценить потребность во вспомогательной вентиляции.

IMV-режим – это вариант согласования вдохов, при котором принудительные вдохи чередуются с самостоятельными. При этом варианте согласования принудительные вдохи выполняются по расписанию, а самостоятельные или спонтанные вдохи больной делает в интервалах между принудительными вдохами.

В настоящее время все большее распространение получают режимы, цель которых – поддержание естественного дыхания пациента. Распространение подобных методов привело к тому, что сейчас оправдана замена самого термина «искусственная вентиляция легких» на более широкое понятие «вентиляционная поддержка» [2].

Библиографический список

1. **Семенов, Д. Д.** Основные тенденции обработки информации в приборах для измерения параметров дыхательной системы / Д. Д. Семенов, Т. А. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 2 : в 2 т. ; ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2. – Т. II.

2. **Фролова, М. С.** Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2013. – Т. 19, № 3. – С. 553 – 561.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА АППАРАТОВ ИВЛ ДЛЯ ДЕТЕЙ И НОВОРОЖДЕННЫХ

А. В. Михина

Тамбовский государственный технический университет

Одной из важных задач для отечественной медицины в настоящее время является скорая неотложная помощь новорожденному младенцу, имеющему нарушения функций дыхательной системы, вследствие определенных патологических явлений [1, 2].

Аппарат искусственной вентиляции легких (ИВЛ) применяется для поддержания нормального газообмена у пациентов, частично или полностью утративших функцию полноценного самостоятельного дыхания с целью насыщения крови кислородом и удаления из легких углекислого газа.

Аппарат ИВЛ для новорожденных широко используются в отделениях детской реанимации и в роддомах.

При проведении ИВЛ в легкие подается газовая смесь, состоящая из сжатого воздуха и кислорода. Газы высокого давления поступают от специальных баллонов или центральной разводки, сжатый воздух подается от компрессора, а кислород – от медицинского концентратора. После обогащения крови кислородом происходит отвод из легких углекислого газа. Таким образом, устройство имитирует естественную работу органов дыхания и помогает поддерживать жизнедеятельность пациентов с серьезными нарушениями дыхательной способности.

Аппараты ИВЛ для новорожденных и детей – это высокотехнологическая компьютеризированная станция с двумя процессорами, которая является обязательным атрибутом в процессе реанимации малышей. Подобные устройства поддерживают физиологически естественную ритмичность дыхательной системы, оповещают о возникшем нарушении, сбое или ошибках программы. Аппарат увлажняет и подогревает воздух до определенной температуры, а также насыщает кислородом. Автоматизированная система поддерживает эффективный и безопасный уровень давления в легких.

В педиатрической практике для традиционной (конвенционной) вентиляции чаще всего используют такие аппараты, как тайм-циклические респираторы («Sechrist», США; «Bear», США; «Babylog», Германия) и объемные респираторы («Evita», Германия; «Puritan-Bennet», США). При вентиляции легких у новорожденных и детей младшего возраста предпочтение отдается тайм-циклическим респираторам с постоянной циркуляцией газа в дыхательном контуре. Преимущества и недостатки аппаратов этого типа представлены в табл. 1.

У детей с массой тела более 10…15 кг дыхательный объем в гораздо меньшей степени, по сравнению с новорожденными, зависит от изменения аэродинамического сопротивления дыхательных путей и растяжимости легких. Поэтому при вентиляции детей старше 2–3 лет предпочтение обычно отдается объемным респираторам.

Преимущества и недостатки аппаратов этого типа представлены в табл. 2.

1. Респираторы тайм-циклические

Преимущества	Недостатки
– постоянный поток обеспечивает возможность спонтанного дыхания между аппаратными вдохами; – стабильное поддержание и контроль максимального давления на вдохе; – независимая регуляция времени вдоха и выдоха; – относительно невысокая цена респиратора	– плохо регулируется дыхательный объем; – аппарат не реагирует на изменения растяжимости легких; – при несинхронном дыхании возможно существенное ухудшение вентиляции; – увеличивается риск развития баротравмы

2. Объемные респираторы

Преимущества	Недостатки
– гарантированный дыхательный объем; – автоматическое изменение пикового давления в зависимости от растяжимости легких	– работа с респиратором требует больших практических навыков; – потеря части дыхательного объема при негерметичности системы; – относительно высокая стоимость аппаратов

Наличие качественных аппаратов ИВЛ в роддоме или клинике, очень часто определяет дальнейшую судьбу столь маленьких пациентов.

Библиографический список

1. **Фролова, М. С.** Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2013. – Т. 19, № 3. – С. 553 – 561.

2. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА В КАЧЕСТВЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ФИЛЬТРА Р-ЗУБЦА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ

Н. А. Неверов

Тамбовский государственный технический университет

Источником электрической активности является синусовый узел, расположенный в правом предсердии, поэтому анализ кардиограммы начинается с Р-зубца, а отклонения в нем могут указывать на нарушения работы как предсердий, так и проводимости электрических импульсов.

Для увеличения эффективности оценки параметров Р-зубца предлагается применение непрерывного вейвлет-преобразования (CWT). Пусть S – сигнал и ψ – вейвлет. При непрерывном преобразовании вейвлет-коэффициенты сигнала S, соответствующие масштабному коэффициенту a и положению b, определяются формулой:

$$CWT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} S(t)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt.$$

На основе вейвлет-анализа был разработан алгоритм фильтрации ЭКГ-сигнала для выделения Р-зубца.

Алгоритм состоит из нескольких частей.

1. Выполнение непрерывного вейвлет-преобразования с использованием коэффициентов аппроксимации биортогонального вейвлета (bior1.5). Разложение выполняется на масштабном интервале от 35 до 45.
2. Нахождение точек максимума ЭКГ-сигнала, выборка из них точек, соответствующих систоле.
3. Обнуление коэффициентов вейвлет-анализа в окрестности точек максимума систолы, чтобы удалить комплекс QRS, вносящий в сигнал наибольшее количество энергии, и возникающих на всех масштабах разложения.
4. Обнуление коэффициентов меньше нуля, для устранения дрейфа нулевой линии и возникновения паразитных гармоник.
5. Вейвлет спектр сигнала после выполнения пунктов 1 – 4 на рис. 1.
6. Восстановление исходного сигнала с использованием.
7. Аппроксимирующих коэффициентов для реконструкции биортогонального вейвлета (рис. 2).

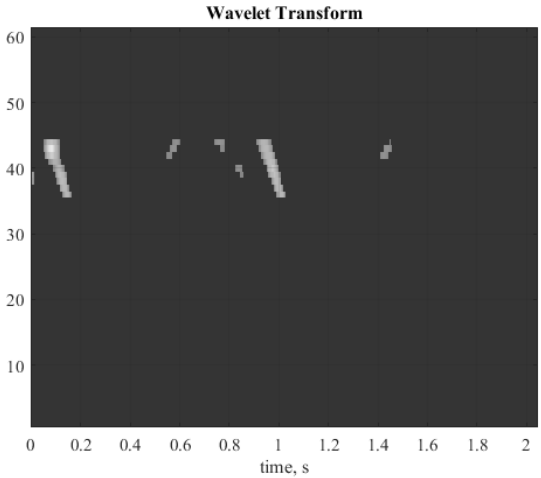


Рис. 1. Вейвлет-спектр отфильтрованного сигнала ЭКГ

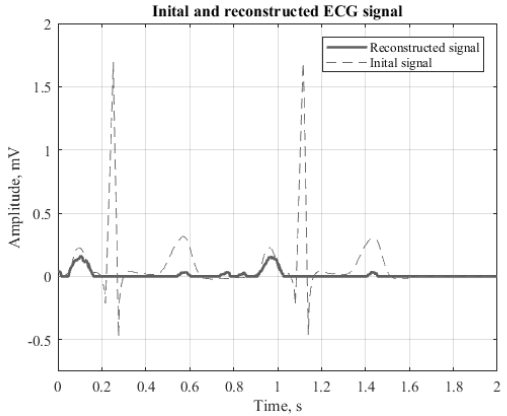


Рис. 2. Исходный сигнал ЭКГ (пунктир) и отфильтрованный по алгоритму (сплошная линия)

Библиографический список

1. **Дубровин, В. И.** Нейроинформатика и интеллектуальные системы / В. И. Дубровин, Ю. В. Твердохлеб // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – Запорожье : Изд-во Запорожский национальный технический университет. – 2011. – № 5. – С. 91 – 98.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ИХ РЕШЕНИЕ

Д. Д. Семенов

Тамбовский государственный технический университет

В электронных медицинских системах [1 – 5] требуется не только измерять биологические параметры, но и регулировать их уровень, поэтому необходимо рассмотреть проблемы систем контроля медицинских анализаторов и пути их решения.

Основным способом контроля является ПИД регулирование, которое представляет собой совокупность позиционного П, интегрального И, дифференциального Д законов, которые управляют шириной диапазона при помощи аппаратно управляемых коэффициентов, подбирающихся методом итераций, что является достаточно длительным процессом при оценке изменяющегося во времени сигнала. Известны методы оптимизации ПИД-коэффициентов, позволяющие рассчитать значение критериев, но данные вычисления являются достаточно трудоемкими, неэффективными и требуют наличие высококлассных специалистов в области автоматического управления, метрологических измерений и аналитического контроля. Приведенные факты

указывают на неэффективность применения ПИД-регулирования в системах автоматического анализа биологических параметров.

Одним из методов решения данной проблемы является регулирование при помощи мультипликативно-симметричного критерия. Алгоритм вычисления управляющего сигнала при помощи мультипликативно-симметричного критерия*)*, выполняющего функцию автоматического регулятора оценивают по нормированной погрешности:

$$\varepsilon = \frac{U - u}{U + u}, \tag{1}$$

где U – сигнал на входе; u – сигнал на выходе.

Для доказательства эффективности данной системы воспользуемся компьютерным моделированием. Погрешность способов регулирования показана на рис. 1.

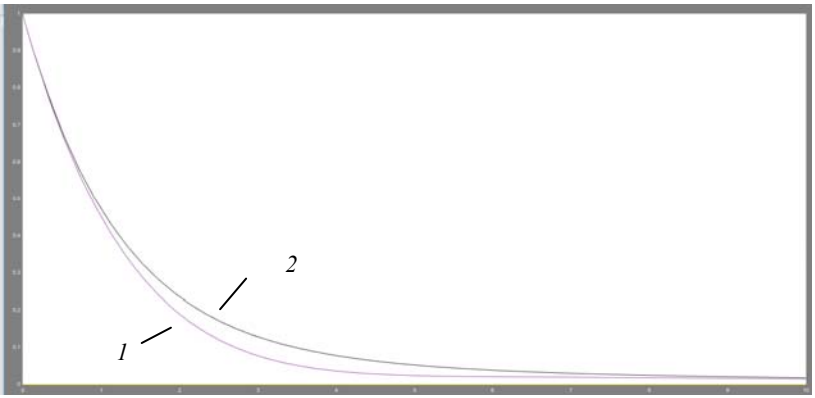


Рис. 1. Погрешность МС-регулирования 1 и ПИД-регулирования 2

Качественный анализ представленного рисунка показывает, что МС-регулирование более эффективно регулирует биологические параметры.

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

2. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск 52. – С. 106 – 111.

3. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.

4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

5. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗУБЦОВ ИЗ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

В. Р. Солдатова

Тамбовский государственный технический университет

Электрокардиограмма сердца отображает активность биопотенциала сердечной мышцы. С ее помощью можно определить аномалии в работе органа и вовремя назначить соответствующее лечение. Желудочковая экстрасистолия характеризуется несколькими признаками. Одним из признаков является отсутствие компенсаторной паузы. Для повышения эффективности выделения промежуточного интервала между сокращениями зубцов T и P ЭКГ-сигнала предлагается использовать дискретное вейвлет-преобразование. Для выделения зубцов T и P будем использовать полосовой фильтр, реализованный с помощью непрерывно-дискретного вейвлет-преобразования.

Прямое непрерывно-дискретное вейвлет-преобразование имеет вид (1):

$$C_{a,\,b} = \sum_{t=b-La}^{b+La} if\,(t \geq 0 \wedge t < N,\, SK_t\, fi(t,\, a,\, b),\, 0), \qquad (1)$$

где a – частота (масштаб); b – время (сдвиг); L – масштаб вейвлетного спектра; t – время, $fi\,(t,\, a,\, b)$ – вейвлетная функция; SK – исходный сигнал; N – количество точек.

Для данных электрокардиограмм был найден масштаб вейвлетного спектра равный 4.

Исходный сигнал электрокардиосигнала без отклонений приведен на рис. 1, на рис. 3 представлен ЭКГ-сигнал с желудочковой экстрасистолией. На рисунках 2 и 4 показаны выделенные T и P зубцы при $a = 22$.

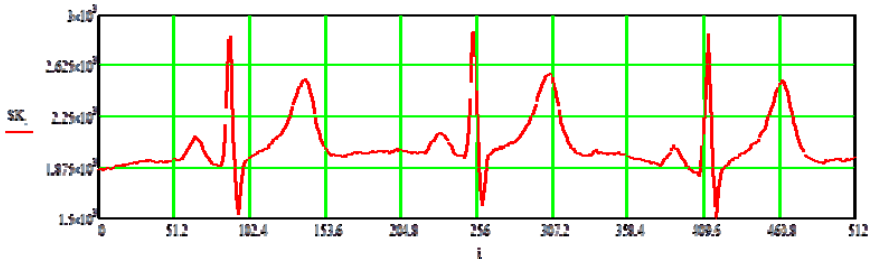


Рис. 1. ЭКГ-сигнал без отклонений

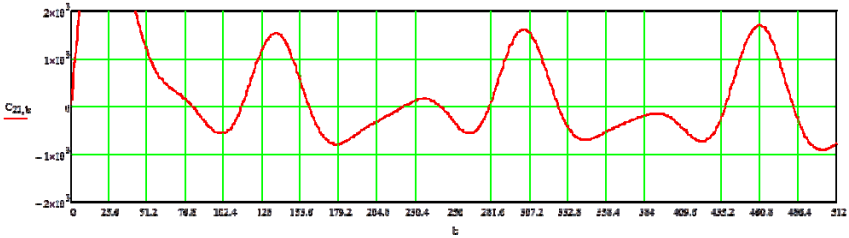


Рис. 2. Выделенные Т и Р зубцы ЭКГ-сигнала

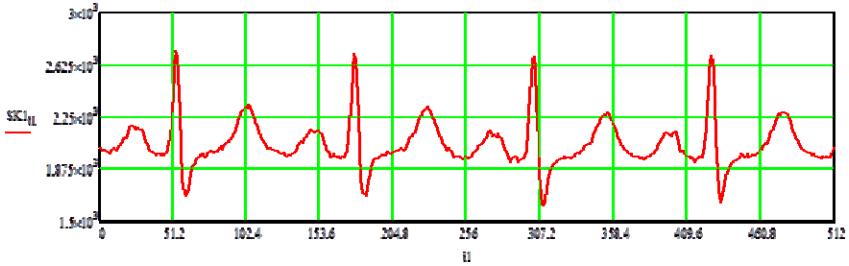


Рис. 3. ЭКГ с желудочковой экстрасистолией

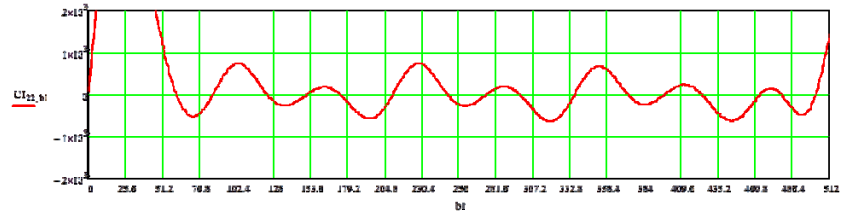


Рис. 4. Выделенные Т и Р зубцы на ЭКГ с желудочковой экстрасистолией

Проанализировав изменения коэффициента $C_{a,b}$ для a = 22 и сравнив длительность между двумя зубцами можно заметить различия между ЭКГ без отклонений и ЭКГ с желудочковой экстрасистолией. При нахождении промежуточных интервалов между сокращениями зубцов Т и Р на приведенных ЭКГ и сравнивая эти значения с нормальной длительностью можно сделать вывод, что на рис. 4 присутствуют отклонения от нормальной длительности.

Библиографический список

1. **Солдатова, В. Р.** Информационная система, повышающая эффективность работы врача – кардиолога / В. Р. Солдатова, В. В. Дубровин // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : тез. докл. 3-й Междунар. конф. с элементами научной школы. Тамбов. – 2016. – С. 427–428.

Работа выполнена под руководством
кандидата технических наук, доцента В. В. Дубровина

ИСПОЛЬОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭЭГ

Д. Е. Судаков, С. Г. Леньшин

Тамбовский государственный технический университет

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – это метод исследования активности головного мозга путем записи электрических импульсов, исходящих из различных его областей [1 – 3].

Электроэнцефалография позволяет прояснить множество ситуаций, связанных с диагностикой и дифференциальной диагностикой неврологических заболеваний, поэтому этот метод исследования широко применяется и положительно оценивается врачами-неврологами.

Для того чтобы информация была наиболее достоверной сигнал ЭЭГ необходимо обработать.

Очень важным моментом в обработке сигнала ЭЭГ является фильтрация шума и выделения полезного сигнала.

Для фильтрации сигнала ЭЭГ была использована вейвлет-фильтрация.

Математический аппарат дискретного вейвлет-преобразования широко применяется в технике, в том числе при передаче и кодировании информации, когда нужно быстро провести вычисления.

В ходе реализации ДВП сигнал подается на вход двух сопряженных квадратурных зеркальных фильтров. Для проведения разложения по пирамидальному алгоритму необходимо, чтобы объем выборки был задан в виде степени числа 2.

Для фильтрации помех небольшие по абсолютной величине вейвлет-коэффициенты на малых масштабах (наиболее подверженные влиянию флуктуаций) отбрасывают перед проведением обратного преобразования (метод пороговой фильтрации).

При использовании такой пороговой функции остаются неизменными большие по модулю (наиболее значимые) вейвлет-коэффициенты и обнуляются малые.

Используя среду Matlab обработаем сигнал ЭЭГ.

На рисунке 1 отражен сигнал ЭЭГ при различном уровне фильтрации – 2^0, 2^1, 2^2 соответственно.

При уровне фильтрации 2^2 часть полезного сигнала теряется, поэтому важно подобрать оптимальный уровень фильтрации для сигнала.

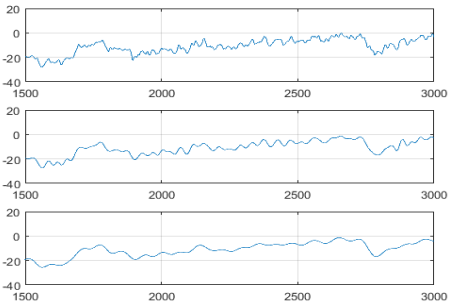


Рис. 1. Сигнал ЭЭГ при различном уровне фильтрации

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
3. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

ПРОБЛЕМА СНЯТИЯ ПАЦИЕНТА С ДЛИТЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ И НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ЕЕ РЕШЕНИЯ

Т. М. Тымчук, Н. В. Венцерова

Тамбовский государственный технический университет

Пациентам, долго находящимся на искусственной вентиляции легких, нужно перейти к самостоятельному дыханию, что невозможно сделать без предварительной подготовки организма к отмене ИВЛ [1 – 6].

Необходимость постепенной отмены ИВЛ обусловлена тем, что дыхательные мышцы не могут восстановить свой тонус сразу, поэтому необходим период до перехода на самостоятельное дыхание. При проведении длительной ИВЛ возможно наступление атрофии дыхательной мускулатуры аналогичной атрофии мышц верхней конечности при ее иммобилизации.

Существуют различные методики отмены ИВЛ, их работа аналогична принципу электрического включателя. Первый метод действует как рычаговый выключатель, второй же работает постепенно, как реостат.

Первый способ называют Т-образным по форме трубки дыхательного контура. Обогащенный кислородом воздух сначала подается на вход респиратора, а затем к пациенту и проходит вплоть до выходной трубки контура. При вдохе воздух попадает в легкие больного только через входную трубку респиратора, причем большая скорость воздушного потока, проходящего через верхнюю трубку контура, предотвращает попадание в легкие атмосферного воздуха. При выдохе данный поток увлекает за собой выдыхаемый воздух, препятствуя его повторному вдыханию.

Вторым из рассматриваемых методов является перемежающаяся принудительная вентиляция (ППВ). Метод ППВ обеспечивает для пациента определенный уровень ИВЛ, в то же время позволяя ему дышать самостоятельно в промежутках между работой респиратора.

Из двух рассмотренных методов более оптимальным является Т-образный метод из-за более короткого промежутка времени отмены и большей эффективности восстановления дыхательной мускулатуры.

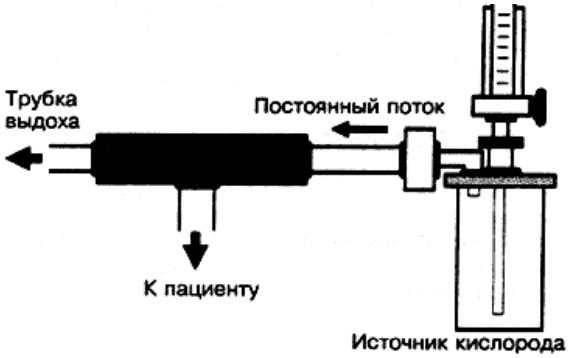


Рис. 1. Схема Т-образного контура, используемого при отмене ИВЛ

Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск 52. – С. 106 – 111.
3. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.
4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
5. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.
6. **Семенов, Д. Д.** Основные тенденции обработки информации в приборах для измерения параметров дыхательной системы / Д. Д. Семенов, Т. А. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 2 : в 2 т. ; ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2. – Т. II.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПАНА-ТОМПКИНСА ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЭКГ

М. Г. Чипунгу

Тамбовский государственный университет

Пан и Томпкинс предложили в 1985 году точный детектор ритма ЭКГ в реальном времени, который был успешно использован во многих коммерческих устройствах. Первоначально алгоритм реализован на микропроцессоре, а затем на языке программирования С. Эта работа реализует тот же алгоритм в среде Matlab, но не в реальном времени, а при применении его на ПК для анализа записей записанных заранее с надеждой на то, что он может быть более легко доступен исследователям в области биомедицинской инженерии.

Предварительная обработка ЭКГ сигналов:

1. Полосовой фильтр (5…15 Гц) для уменьшения влияния мышечного шума, интерференции 60 Гц, интерференции Т-волн и устранения дрейфа нулевой линии.

2. После фильтрации сигнал дифференцируется для обеспечения информации о склеивании комплексного QRS.

3. После дифференциации вычисляется квадрата сигнала по точкам и усредняется для удаления высокочастотного шума (длина 0,150 с).

Решение о том, соответствует ли импульс комплексу QRS (в противоположность высокочастотной Т-волне или артефакту шума), выполняется с адаптивной операцией порогового значения и другими правилами принятия решений.

При анализе амплитуды выхода алгоритм использует два пороговых значения (THRSIG и THRNOISE). Первый проход через $y[n]$ использует эти пороговые значения, чтобы классифицировать каждый ненулевой образец (CURRENTPEAK) как сигнал или шум: если CURRENTPEAK> THRSIG, это местоположение идентифицируется как кандидат комплекса QRS и обновляется уровень сигнала (SIGLEV): SIGLEV = 0,125 × CURRENTPEAK + 0,875 × × SIGLEV. Если THRNOISE < CURRENTPEAK < THRSIG, то это место идентифицируется как пик шума и обновляется уровень шума (NOISELEV): NOISELEV = 0,125 × CURRENTPEAK + 0,875 × NOISELEV.

На пороговом шаге выше, если CURRENTPEAK < THRSIG, считается, что пик не был результатом комплекса QRS. Если, однако, необоснованно длительный период истек без превышения порога максимума, алгоритм предполагает, что QRS был пропущен и выполнил поиск. Наконец, если кандидат QRS возникает после рефрактерного периода 200 мс, но в пределах 360 мс предыдущего QRS, алгоритм определяет, является ли это настоящим QRS-комплексом следующего сердечного ритма или аномально значимой Т-волны. Это решение основано на среднем наклоне формы волны в этом положении. На рисунке 1 показан результат работы в среде Matlab.

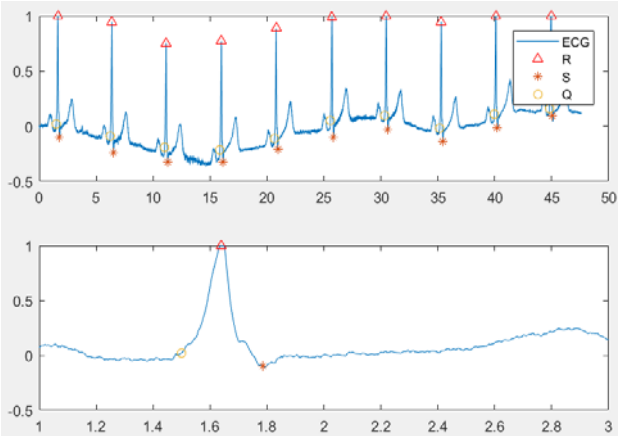


Рис. 1. Обнаруженные QRS-комплексы на отфильтрованном сигнале ЭКГ

Библиографический список

1. **Pan J.**, Tompkins W. J. A Real Time QRS Detection Algorithm. IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1985.– V. BME-32. – P. 230 – 236.
2. **Ладяев, Д. А.** Алгоритм обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигналов на основе вейвлет-преобразования : автореф. дис. … канд. техн. наук / Д. А. Ладяев. – Саранск, 2007. – 22 с.
3. **Открытая** база данных ЭКГ MIT. – 2018. URL: http://www.physionet.org/cgibin/atm/ATM.
4. **Добеши, И.** Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика. – 2001. – 464 с.
6. **Гонсалес, Р.** Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2006. – 1072 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Амелина В. И., *Худякова А. Д.*, *Данилов С. Н.* Анализ алгоритмов прогнозирования безопасности движения беспилотного автомобиля 3

Козин Р. Р., *Андреев П. Г.*, *Нагаев Т. Р.*, *Юрков Н. К.*, *Баннов В. Я.* Некоторые аспекты беспроводной передачи электроэнергии на основе явления электромагнитной индукции 5

Антонов Е. А., *Раев К. Д.* Применение фототиристоров в радиотехнике 7

Бесперстов М. В., *Никитенков Д. О.*, *Кольтюков Н. А.* Модель динамики электропривода на основе асинхронного электродвигателя 8

Бобров В. В. Исследование параметров операционного усилителя в Simscape Electronics 10

Брюзгин А. А., *Пудовкин А. П.* Емкостной метод непрерывного контроля толщины приработачного слоя металлофторопластового ленточного материала 12

Бугримов И. П., *Герасименко А. А.* Перспективы использования пассивных радиометок с ЛЧМ модуляцией ... 13

Глистин В. Н. Определение приращения скорости изменения азимута воздушного судна 15

Даккурян А. С. Исследование влияния размера выреза в микрополосковой патч-антенне на ее параметры 17

Демидов М. С., *Шарапов И. В.*, *Мещеряков И. В.* Исследование алгоритмов угломерного канала со случайной структурой при траекторной обработке воздушных судов 19

Дмитриев Д. С., *Самсонов О. О.* Перспективная система обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов и контроля воздушного пространства 21

Терехов В. В., *Жалнин Д. О.* Применение средних волн в радиотехнике 23

Жумашев Н. Г., *Григорьев А. В.*, *Подсякина А. Ю.*, *Персанов Н. Е.*, *Бростилов С. А.* Исследование сочетания двух негативных, негативно-контурной и вершинной структур элемента вибрационно-размытого изображения 24

Зинченко Т. О., *Николаев К. О.* Исследование изотропности прозрачных проводящих покрытий на основе диоксида олова 26

Зинченко Т. О., *Печерская Е. А.*, *Николаев К. О.* Экспериментальное исследование полупроводниковых пленок на основе диоксида олова легированного сурьмой 28

Ильин В. Ю., *Мочалов В. И.* Солнечный трекер на платформе ARDUINO 29

Калистратова И. В., *Мокрозуб В. А.*, *Попов А. В.* Диаграмма активности доступа к базе данных радиотехнических элементов 31

Мартынов А. В., *Голубков П. Е.*, *Печерский А. В.*, *Абдуллин Ф. А.* Зависимость выходных характеристик солнечных элементов от технологических параметров нанесения перовскитовых тонких пленок 32

Мещеряков И. В., *Демидов М. С.*, *Шарапов И. В.* Оценка процессов со случайной структурой при траекторной обработке воздушных судов 34

Мокрозуб В. А., *Калистратова И. В.*, *Попов А. В.* Использование гиперграфов для описания структуры радиотехнических систем 36

Никитенков Д. О., *Бесперстов М. В.*, *Кольтюков Н. А.* Энергосбергающее управление мощными потребителями электроэнергии 38

Панасюк Ю. Н., *Рогачев А. И.*, *Сустин А. И.* Методы повышения точности координат в третичной обработке информации 39

Панфилов В. С. Использование бортовых датчиков в автоматизированной системе УВД 41

Панфилов В. С. Анализ систем посадки метрового диапазона 43

Перетокин Р. А., *Самодуров А. С.* Зигзагообразная антенна для приема цифрового ТВ 45

Писарчук А. С., *Малмалаев А. С.* Использование ультракоротких и коротких волн в радиотехнике 47

Поплевин А. В., *Хребтов А. Р.* Система управления беспилотным автомобилем, основанная на фильтре Калмана 48

Попов А. В., *Калистратова И. В.*, *Мокрозуб В. А.* Организация интерфейса пользователя с базой данных радиотехнических элементов 50

Прошина Д. И., *Сулейменов Е. А.*, *Прошин А. А.*, *Реута Н. С.*, *Самаров В. В.* Системы радиоэлектронной борьбы и радиоэлектронного подавления 52

Рачинский С. А., *Золотарь Н. И.* Исследование частотных характеристик широкополосных сигналов, построенных на основе применения собственных векторов субполосных матриц 54

Резникова Л. В. Актуальность применения метаматериалов при создании плоских линзовых антенн …….. 55
Рогачев А. И., *Сустин А. И.* Третичная обработка радиолокационной информации в угломерном канале ... 57
Сарычев Р. А., *Сторожев Д. А.* Система помощи автомобилисту при парковке …….. 59
Севцов И. А., *Кочегаров И. И.*, *Васильев А. С.*, *Нанеташвили Р. Г.*, *Аброськин Н. С.* Особенности оценки качества аккумулятора по динамическим характеристикам его разряда …… 61
Скварник И. С. Обоснование требований к производительности беспроводной сети связи …… 63
Сулеев А. А., *Москвитин С. П.* Использование беспроводной телеметрии в тепловом неразрушающем контроле качества конструкционных материалов ……. 64
Сустин А. И., *Рогачев А. И.* Третичная обработка радиолокационной информации в дальномерном канале 66
Сыщикова Д. А., *Данилов С. Н.* Автомобильные радары …….. 68
Фетисов И. Н. Использование длинных волн в радиотехнике …… 70
Фомин М. В., *Григорьев А. В.*, *Ермекбаев С. Ш.*, *Москвитина О. В.*, *Наумова И. Ю.* Анализ элемента вибрационно-размытого изображения, имеющего три позитивные и вершинную связи ……. 72
Чувашлев К. А., *Григорьев А. В.*, *Нуржанов Д. Х.*, *Синицын М. О.*, *Данилова Е. А.* Особенности взаимопроникновения двух негативно-контурных, вершинной и позитивной структур на границе сегмента вибрационно-размытого изображения …….. 74
Чурилин О. Н. Разработка метода повышения энергетической эффективности передатчика мобильной связи и телевидения …….. 75
Шпикин П. В. Алгоритм функционирования угломерного канала радиолокационной станции …….. 77

Секция 2

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СВЯЗИ

Бростилов С. А., *Бростилова Т. Ю.*, *Бекбаулиев А. О.*, *Мосеев А. П.*, *Баннов В. Я.* Моделирование процесса отражения и распространения электромагнитных волн в волоконно-оптическом преобразователе 80
Бугримов И. П., *Герасименко А. А.* Моделирование сенсорных сетей на основе технологии LORA в условиях сложного рельефа с помощью программного обеспечения RADIO MOBILE ……. 82
Гаврилов А. О. Когнитивно-графический подход к анализу задач оптимального управления в помехоустойчивых информационно-управляющих системах многомерными технологическими объектами …… 83
Дружинин Н. Ю., *Григорьев А. В.*, *Каражанов Б. Б.*, *Тюрина Л. А.*, *Фильчиков Р. С.* Анализ элемента вибрационно-размытого изображения, имеющего две низинные, позитивную и позитивно-контурную связи ……. 85
Жихарев К. В., *Кочегаров И. И.*, *Реута Н. С.*, *Нуржанов Д. Х.*, *Крестин Э. В.* Особенности обработки данных с цифрового акселерометра ……. 86
Жуков С. В. Метод бесконтактного мониторинга деформационного состояния динамически нагруженного несущего винта вертолета ……. 88
Киселев А. Д., *Любимов А. Д.* Синтез кольцевой антенной решетки на основе двухгребневой рупорной антенны в системах цифрового гибридного эфирного телевидения ……. 89
Колмыкова А. С., *Белоусов О. А.*, *Дякин А. И.* Особенности построения сверхширокополосных излучателей на основе копланарных волноводов …….. 92
Куренков Д. С., *Илясов А. П.*, *Сидорова Д. А.*, *Ерышова В. С.* Цифрофизация интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы в производстве теплоизоляционных материалов …… 93
Лысенко А. В., *Моисеев С. А.*, *Надырбеков Г. Ж.*, *Подсякин А. С.*, *Шнайдер А. Д.* Анализ существующих систем управления виброиспытательными установками ……... 95
Наумова А. Ю., *Зырянов Ю. Т.*, *Любимов А. Д.* Особенности программной и аппаранной надежности информационно-измерительных и управляющих систем …….. 97
Рязанов И. Г., *Зырянов Ю. Т.*, *Любимов А. Д.* Модели и алгоритмы для оценки надежности информационно-измерительных систем с применением нейросетевых технологий ……. 98
Нгуен В.Ф., *Чан Д. К.*, *Татаринцев С. А.* Использование метода наименьших квадратов (МНК) в задачах идентификации динамического объекта второго порядка ……. 100
Нури А. Н. Сравнение традиционных технологий обнаружения и лазерного контроля утечек газа в газотранспортной системе …….. 102
Рябов Д. Ю., *Попов А. А.*, *Дякин А. И.*, *Киселев А. Д.* Методы минимизации числа облучателей в многолучевом зеркальном крупноапертурном излучателе …….. 104
Рябов Д. Ю., *Попов А. А.*, *Дякин А. И.* Многолучевой зеркальный крупноапертурный излучатель в многолучевых антенных системах космических ретрансляторов KU-диапазона …… 105
Скоморохов К. В., *Дмитриевцев А. Ю.*, *Любимов А. Д.* Синтез микрополоскового излучателя …… 107

Скоморохов К. В., *Дмитриевцев А. Ю.*, *Любимов А. Д.*, *Киселев А. Д.* Синтез линзового излучателя …….. 108
Вирясова Т. И., *Майоров А. В.* Принципы разработки датчика уровня в маслобаке ……... 110
Голубков П. Е., *Печерская Е. А.*, *Мартынов А. В.* Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования …… 111
Бабкин С. В., *Кирюпин М. М.*, *Дякин А. И.* Особенности применения фрактальных излучателей для цифровых антенных систем широкополосного беспроводного доступа ……... 113
Таипова Д. Р. Устройство емкостной дефектоскопии токопроводящих покрытий топливных баков …….. 115
Тюрин И. В., *Токарев Р. А.*, *Кошелев И. Ю.*, *Дементьев Р. О.* Общая задача синтеза энергосберегающих управляющих воздействий для многомерных объектов …… 117
Тюрин И. В., *Токарев Р. А.*, *Кошелев И. Ю.*, *Калашников Д. В.* Алгоритмическое обеспечение решения задач энергосберегающего управления …… 118
Чернышов Н. Г., *Диумесси М. Ф.*, *Зеленова И. В.*, *Мукачана Э.* Управляющая система диагностики промышленных объектов в программой среде LabVIEW …….. 120
Чернышов Н. Г., *Федотов Д. А.*, *Карпенко И. Е.* Платформа для создания системы удаленного управления объектом ……... 121
Чернышов Н. Г., *Диумесси М. Ф.*, *Зеленова И. В.*, *Мукачана Э.* Система оптимального управления в промышленности на платформе NATIONAL INSTRUMENTS …….. 123
Юдин А. А., *Кочегаров И. И.*, *Коршунов Д. В.*, *Нуржанов Д. Х.*, *Кузина Е. А.* Генерация многоканального сигнала с применением цифрового синтеза ……. 125

Секция 3

ПРОБЛЕМЫ БИОТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Агафонова Н. И., *Савинова К. С.*, *Болдырев Д. В.* Динамический способ диагностики функционального состояния сосудов …….. 127
Андрианов Д. И. Создание полосового фильтра на базе вейвлет-анализа для выделения Т-зубца из кардиосигнала …… 128
Андрианов Д. И., *Неверов Н. А.* Фильтрация и распознавание образов зубцов кардиограммы на базе вейвлет-анализа …….. 130
Венцерова Н. В., *Тымчук Т. М.* Проблемы при электростимуляции головного мозга ……. 132
Егорова Е. А., *Лисицын А. С.* Способ визуализации подкожных вен в инфракрасном диапазоне спектра излучения ……. 133
Андрей В. К. Преобразователь температуры …… 135
Карпенко Ф. Е. Современные способы измерения артериального давления …….. 136
Коновалова К. Н. Использование методов эхокардиографии для диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы ……... 138
Крапивина В. В. Компьютерная томография. Проблемы и перспективы развития ……. 139
Леньшин С. Г., *Судаков Д. Е.* Фильтрация сигнала и анализ эмоционального состояния электроэнцефалограммы в частотной области ……. 141
Лисицын А. С., *Егорова Е. А.* Способ частотно-динамической фокусировки на излучение и прием в медицинских ультразвуковых диагностических сканерах …….. 143
Михина А. В. Актуальные проблемы использования респираторных систем …….. 144
Михина А. В. Особенности выбора аппаратов ИВЛ для детей и новорожденных …….. 146
Неверов Н. А. Применение алгоритма в качестве избирательного фильтра Р-зубца электрокардиограммы 147
Семенов Д. Д. Основные проблемы систем контроля биологических параметров и их решение ……. 149
Солдатова В. Р. Применение непрерывного вейвлет-преобразования для выделения зубцов из электрокардиосигнала ……. 151
Судаков Д. Е., *Леньшин С. Г.* Использование вейвлет-фильтрации для обработки ЭЭГ …… 153
Тымчук Т. М., *Венцерова Н. В.* Проблема снятия пациента с длительной вентиляции легких и нахождение оптимального метода ее решения ……. 154
Чипунгу М. Г. Разработка алгоритма Пана–Томпкинса для предварительной обработки ЭКГ ……. 156

Научное издание

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО

Тезисы докладов

Редактирование Е. С. Мордасовой
Инженер по компьютерному макетированию Т. Ю. Зотова

ISBN 978-5-8265-1921-9

Подписано к использованию 08.05.2018.
Тираж 50 шт. Заказ № 143

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел. 8(4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru