

Труды XXI научной конференции по радиофизике

**СЕКЦИЯ  
«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ  
И ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ»**

Председатель – А.Л. Умнов, секретарь – С.Б. Сулова.  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.

## **МЕТЕОРАДАР С РАЗНЕСЁННОЙ ПРИЁМНОЙ И ПЕРЕДАЮЩЕЙ АНТЕННАМИ**

**А.А. Анурин, А.Л. Умнов**

*ННГУ им. Н.И. Лобачевского*

До настоящего времени основными потребителями метеорологической информации являлись системы обеспечения полётов гражданской и военной авиации, но с развитием беспилотных летательных аппаратов (БЛА) различного назначения появляются автономные системы управления, для которых знание локальных метеоусловий в районе полёта БЛА, является залогом их безаварийного управления. Если на больших БЛА есть возможность установки бортовой РЛС метеорологического наблюдения, то на малых БЛА такой возможности нет. Поэтому малые БЛА целиком и полностью полагаются на внешнюю систему управления, а те, в свою очередь, используют данные, выдаваемые метеорологическими РЛС.

Существующие на данный момент серийно выпускаемые отечественные метеорологические РЛС имеют ряд недостатков:

- высокая излучаемая импульсная мощность, что требует применения дорогостоящей электровакуумной аппаратуры, которая имеет достаточно низкое время наработки на отказ;
- большая масса антенной системы и аппаратуры формирования мощного импульсного сигнала, что накладывает ограничение на применяемость данной системы;
- время полного обновления информации составляет десятки минут;
- однопозиционная система не позволяет определить полный вектор скорости метеообъекта;
- наличие углов закрытия в однопозиционной системе, определяемых природными или техногенными факторами, не позволяет вести наблюдения за низкими атмосферными слоями;
- существующий объём аппаратуры требует наличия специализированного помещения.

Применение метеорадарного комплекса, построенного на базе многопозиционной системы локальных РЛС, позволяет избежать указанных выше недостатков. Базовым звеном данного комплекса является метеорадар с разнесённой приёмной и передающей антеннами. При работе с пространственным разнесением приёма и передачи можно использовать в качестве зондирующего сигнала непрерывный шумоподобный сигнал, что существенно уменьшает пиковую мощность передающего устройства и позволяет выполнить его на базе транзисторных усилителей. Кроме того, за счет пространственной развязки приёмной и передающей антенн, можно повысить КПД системы, исключив потери в приёмном и передающем трактах, формируемые схемой развязки «передача-приём».

Суть работы радара заключается в синхронном вращении приёмной и передающей антенн, при этом антенны всегда смотрят в одном направлении, а для обеспечения обзора пространства антенны вращаются по спирали, т.е. за один период азимутального оборота антенны осуществляют угломестный наклон на величину, равную половине ширины их диаграммы направленности. Несмотря на то, что приёмная и передающая

антенны пространно разнесены, в приёмную антенну попадает прямой сигнал, излучаемый передающей антенной. Поэтому обработка сигнала должна обеспечивать низкий уровень боковых лепестков, возникающий при сжатии сигнала, так чтобы прямой сигнал сжимался только в первом кванте дальности и в частотном фильтре, соответствующем нулевой скорости объекта.

Проведенная обработка экспериментально записанных сигналов позволяет обеспечить уровень боковых лепестков сжатого сигнала порядка  $-70 - 80$  дБ, что вполне достаточно для размещения антенн в пределах 50 м друг от друга.

На рисунках 1 и 2 представлен облик метеорадаара с разнесёнными приёмной и передающей антеннами и расчётное отношение С/Ш для слоя кучевых облаков в зависимости от дальности до них.

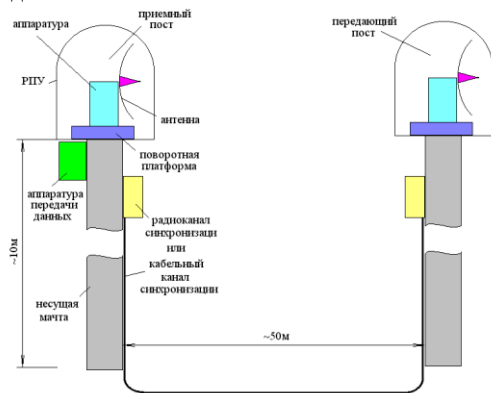


Рис. 1

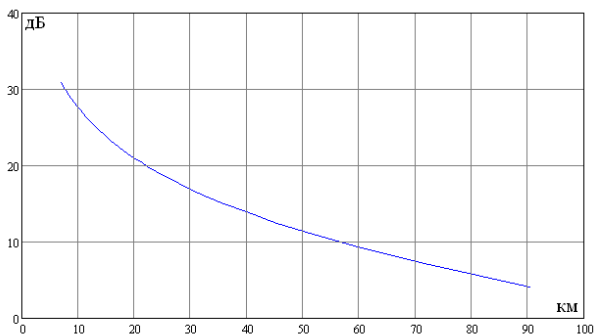


Рис. 2

## ОБЗОР СИСТЕМ СВЯЗИ С БПЛА

Я.А. Силашкин

*ННГУ им. Н.И. Лобачевского*

В настоящее время наблюдается большой интерес к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), имеющим перспективное использование в различных целях, от аэрофотосъёмки до военного применения [1]. При этом эффективность их использования во многом зависит от правильного выбора канала беспроводной связи.

Основными видами беспроводной связи с БПЛА являются:

- системы радиосвязи прямой видимости,
- спутниковые системы связи,
- оптические линии,
- каналы связи на основе мобильных сетей.

Каждый тип беспроводной связи имеет свои преимущества и специфику применения.

Так, системы радиосвязи прямой видимости способны обеспечивать стабильный канал со скоростью передачи данных до сотен мегабит в секунду и поэтому отлично подходят как для управления, так и для передачи данных, в том числе непрерывной трансляции видеоизображения. Однако они имеют ограниченную дальность действия, которая определяется множеством параметров: частота сигнала, рельеф местности, коэффициент направленного действия (КНД) антенн, мощность сигнала, высота полёта БПЛА. Главными преимуществами этого типа связи являются небольшой размер приёмопередающего устройства и доступность недорогого оборудования, работающего на стандартных частотах. Для систем связи малых БПЛА решающими факторами при выборе системы связи являются масса и габариты бортового приёмопередатчика и антенно-фидерного устройства, поэтому радиосвязь наиболее распространённый вид связи с малыми БПЛА.

В отличие от радиосвязи прямой видимости спутниковая связь обеспечивает дальность действия, которая, в общем, ограничена зоной покрытия спутников. Коммерческие спутники обеспечивают устойчивое соединение на большей части поверхности Земли. Так, система связи Globalstar обеспечивает стабильный приём на территории от 70° южной широты до 70° северной широты. В крайних полярных регионах спутниковое соединение осуществить сложнее, т.к. требуется использование специальных спутников. Полное покрытие земной поверхности реализовано в системе Iridium. Недостатком таких систем связи является большая задержка сигнала (с учётом мультиплексирования, коммутации и обработки сигнала до 400 мс), обусловленная конечностью скорости распространения радиоволн и расстоянием между БПЛА и спутником связи. Огромные расстояния между БПЛА и спутником являются причиной того, что отношение сигнал/шум на приёмнике очень невелико (гораздо меньше, чем для большинства радиорелейных линий связи). Для того чтобы в этих условиях обеспечить приемлемую вероятность ошибки, приходится использовать большие антенны, малошумящие элементы и сложные помехоустойчивые коды [3], что особенно критично в системах связи с микро БПЛА, так как в них есть ограничение на размер антенны и, как правило, на мощность передатчика. Кроме того, на качество спутниковой связи оказывают сильное

влияние эффекты в тропосфере и ионосфере. Системы спутниковой связи применяются, в основном, на БПЛА с большой дальностью полёта и управлением автопилотом.

Сверхнизкой задержкой, значительно меньшей, чем у других систем связи (в большинстве случаев не превышает 100 нс), и высокой скоростью передачи (теоретически оптическая линия связи способна обеспечивать скорость передачи данных до 1 Тбит/с) обладает атмосферная оптическая линия связи (АОЛС) или Free-Space Optics (FSO).

АОЛС не требует получения лицензии и разрешений на работу, так как используется ИК-диапазон. Благодаря узкому лучу с малым рассеянием и отсутствию боковых и задних лепестков излучения обеспечивается защищённость и скрытность канала связи. Обнаружение оптического канала возможно только в непосредственной близости луча на расстоянии 10–25 м.

Главными недостатками открытых оптических систем связи являются требования наличия прямой видимости и значительное ослабление сигналов в среде распространения. Устойчивая связь в случае наземного исполнения обеспечивается на расстоянии не более 10 км. Поэтому открытые системы связи наиболее рационально использовать в космическом пространстве.

Как показывают эксперименты ряда ведущих операторов сотовой связи (Verizon, China Mobile), в качестве канала управления и передачи данных с БПЛА могут использоваться сотовые сети. Сети LTE обеспечивают канал связи с БПЛА на скорости до 100 Мб на приём и 50 Мб на передачу [2]. Существующие сети позволяют устанавливать связь с БПЛА, летящими на небольших высотах, до 120 метров. При большей высоте возрастает уровень интерференции, что не лучшим образом сказывается на качестве связи. Дальность полёта ограничена нахождением БПЛА в зоне действия базовых станций сотовой связи. Однако в перспективе планируется создание P2P сетей на основе БПЛА, где беспилотник может выступать в качестве ретранслятора и передавать пакеты данных из сети сотовой связи. Это позволит обеспечить доступ в Интернет другим беспилотникам, находящимся вне областей доступа сотовой связи. Сети 5G, как ожидается, обеспечат существенно более качественную услугу, хорошо подходящую для управления БПЛА.

- [1] Valavanis K.P. and Vachetsevanos G.J. (Eds.) Handbook of Unmanned Aerial Vehicles – Springer Netherlands, 2015, 3022 p.
- [2] Osserian A. et al. // IEEE Wireless Commun. Mag. 2014. Vol. 52, No. 5. P. 26.

## **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА В СИСТЕМАХ С МАНИПУЛЯЦИЕЙ ВИРТУАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

**В.А. Антонец<sup>1,2)</sup>, А.А. Харитонов<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>*ННГУ им. Н.И. Лобачевского*

<sup>2)</sup>*Институт прикладной физики РАН*

В задачах, связанных с инструментальным исследованием сенсорных функций по их моторным отображениям, данные, интерпретируемые как ошибки управления, напрямую свидетельствуют о различии в качестве восприятия у разных испытуемых.

Так, при восстановлении человеком углов наклона отрезков прямой [1] и при управлении положением манипулятора в рамках hand-tracking [2] зарегистрированы индивидуальные сенсорные шкалы ориентационной настройки зрительной и слуховой систем. При количественном исследовании характеристик соответствующих анализаторов и разработке модели нейронных сетей, воспроизводящих механизмы распознавания, возникает задача оценки параметров моделей.

Одним из возможных решений этой задачи является параллельный сбор данных и их анализ при помощи интерактивных систем опроса, традиционно использующихся при проведении презентаций, проверке результатов успеваемости аудитории и голосовании.

В отличие от стандартного протокола эксперимента по манипуляции виртуальными объектами, предусматривающего непосредственный контакт-управление манипулятором, т.е. *моторный контроль*, беспроводные системы опроса предусматривают бесконтактный многопользовательский интерфейс в виде пультовой системы и радиочастотного ресивера. Учитывая малое время при постановке задачи «вопрос-ответ», сбор данных может происходить быстро и захватывать большую аудиторию. Главной особенностью такого подхода является формирование семантической (в отличие от сенсорной) шкалы оценки результата. Одновременно с этим заданное формирование анкеты (ранжирование вопросов по чёткости, однозначности ответов, модальности суждений) опросной системы способствует проверке численных параметров нейроподобных моделей [3] при помощи инструментов статистического анализа.

- [1] Нуйдель И.В., Полевая С.А., Казаков В.В., Еремин Е.В., Антонец В.А., Яхно В.Г. Сб. научн. трудов. Ч. 2. – М.: МИФИ, 2005. С.93.
- [2] Современная экспериментальная психология. В 2 т. / Под ред. В. А. Барабанщикова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН». 2011. Т. 2, Гл. 33. С. 39.
- [3] Яхно В.Г., Беллюстин Н.С., Красильникова И. Г., Кузнецов С.О., Нуйдель И.В., Панфилов А.И., Перминов А.О., Шадрин А.В., Шевырев А.А. // Изв. вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37, № 8. С. 961.

## МЕСТО ТРИЗ В ИННОВАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ

Р.Б. Аминов

АО «ФНПЦ «ННИИРТ»

ТРИЗ (теория решения изобретательских задач) – это разработка, позволяющая справляться с трудными ситуациями за счет правильной постановки поискового вопроса. Для этого в одном алгоритме соединены несколько сильных идей.

- 1) Изобретение – это устранение противоречия, поскольку при усовершенствовании технических систем (ТС) их составляющие зачастую изменяются независимо друг от друга, и отстающие части тормозят развитие системы в целом.
- 2) Изобретения отличаются по уровню, т.е. по степени перестройки структуры исходной системы. Для создания изобретений разных уровней требуется разное мышление. Технику развивают (определяют направление развития) изобретения высокого уровня, поэтому нужно стремиться к высокому уровню решения конкретной изобретательской задачи.
- 3) Системы развиваются человеком в направлении идеала (идеальной системы не существует, но ее функция выполняется). Движение к идеалу есть уменьшение затрат времени, пространства, средств для выполнения функции.
- 4) Существуют законы развития систем, которые можно использовать для уменьшения числа проб.

С использованием перечисленных принципов и опираясь на понятия диалектики о противоречиях и закономерностях развития, ТРИЗ превратилась в дисциплину, позволяющую успешно решать достаточно сложные технические задачи. Изначально ТРИЗ была задумана как альтернатива методу проб и ошибок (МПиО), т.е. методу бессистемных попыток найти выход из трудной ситуации [1], и предлагает искать решение, исходя из закономерностей развития (технических) систем.

МПиО может применяться в ситуациях, когда есть новое воздействие среды, но нет достаточной информации и стандартных проверенных успешных ответных действий [2]. Пробы выполняются на основе прошлого успешного опыта, мало относящегося к ситуации, что для стороннего наблюдателя выглядит как бессистемный хаотичный поиск. МПиО, используя лишь аналогии и ассоциации (аналогия – подобие по структуре или функции; ассоциация – подобие по силе успеха), позволяет только систематизировать перебор для обеспечения полноты поиска.

В ТРИЗ область поиска ограничивается совокупным применением законов развития ТС, выраженным в виде идеального решения. И чем более структурирована (в лучшем случае, иерархична) область деятельности, в которой возникла трудная ситуация, тем точнее будут рекомендации ТРИЗ.

Вообще говоря, выбор готового решения (МПиО) для человеческого мозга энергетически выгоднее, чем разрешение противоречия (ТРИЗ) [3]. Поэтому в каждом конкретном случае выбор между МПиО и ТРИЗ делается по критерию экономии.

Со временем от работы одиночек над трудными проблемами люди перешли к работе профессиональных коллективов над инновационными проектами. Соответственно изменилось и применение ТРИЗ. Последователи основоположника ТРИЗ Г.С. Альтшуллера, профессионально занимаясь решением задач, изменили авторскую методику. Набор эвристик (способов преобразования исходной ситуации), собранных в ТРИЗ,

стал применяться по-другому. Сейчас можно выделить четыре формы использования ТРИЗ при совершенствовании объектов или создании новых.

- 1) Объединение ТРИЗ с методами анализа, выявляющими задачи в ситуации, например, ТРИЗ+ФСА (функционально-стоимостный анализ) [4], инновационное проектирование (Саламатов Ю.П.) [5], методология GEN3-Innovation Discipline [6].
- 2) Адаптация ТРИЗ под различных по степени компетентности и по степени погруженности в ситуацию решателей. Решение задачи по ТРИЗ становится итерационным – если простые инструменты не помогают, то пускаются в ход более сложные, например, «Рождественская елка» (Шпаковский Н.А.) [7,8], технология инноваций (Петров В.М.) [9], технология эффективных решений (Подкатилин А.В.) [10].
- 3) Процесс решения проблемы есть часть эволюции (развития) системы, и решатели занимаются управлением эволюции системы. Эволюция имеет одну и ту же структуру, например, направленная эволюция (Direct Evolution, Злотин Б. и Зусман А.) [11,12], универсальная схема эволюции (Захаров А.) [13].
- 4) Замена ТРИЗ предельно упрощенным набором действий, сводящим ТРИЗ к МПиО, например, направленная генерация идей (Guided Brainstorming, Малкин С.Ю.) [14-16].

Изобретательство признано как важный фактор прогресса и системно используется. ТРИЗ подстраивается разработчиками-практиками под изменившиеся обстоятельства, но коммерческое или профессиональное использование ТРИЗ приводит к её упрощению. Сильное мышление, требующее энергетических затрат мозга, разбито на простые стандартные стереотипные действия, известные и доступные любому образованному человеку.

Несмотря на то, что при этом достигается высокий результат, такое использование ТРИЗ вместо разрешения противоречий приводит к комбинации известного. Создание изобретения с целью развития техники заменяется решением проблем экономики.

Изобретение – это перестройка структуры исходной системы для получения новых технических характеристик. Решение проблемы – это поиск и выбор готового процесса (или составление процесса из известных частей), дающего выгоду или преимущество. Решить проблему можно и с помощью изобретения. А изобретение не всегда дает выгоду или преимущество. Изобретение развивает систему и в будущем или при определенных обстоятельствах может дать выгоду. Решение проблемы дает преимущество, как говорится, «здесь и сейчас».

По сути, ТРИЗ определила свою нишу – дополнять известные методы или системы совершенствования систем. Однако суть тризовского изобретательского творчества осталась прежней.

По требованию ситуации (по требованию надсистемы), являющимся для системы функцией, которую система должна выполнить, структура системы перестраивается так, чтобы выполнять функцию с минимальным использованием ресурсов (с минимальными затратами). Т.е., это построение структуры по функции с учетом стремления к идеальности (с учетом эволюции).

С точки зрения ТРИЗ необходимо в каждой ситуации строить структуру, что равносильно построению новой модели реальности. Это меняет мышление – изменяет связи между нейронами.



В современных модификациях ТРИЗ построение структуры не меняет мышление, т.к. построение сводится к комбинации известного, а стремление к идеальности заменяется степенью идеальности и доступностью ресурсов. Это помогает и решать задачи, и осваивать ТРИЗ, но что-то оставляет неучтенным, т.к. разложение новой ситуации идет по старым готовым решениям.

Действительно, новые требования к системам – это признак влияния внешней среды на человеческий гомеостаз. Представление реальности в виде совокупности систем, появившееся как необходимость совместного существования человеческих особей, по определению приводит к проблемным ситуациям, т.к. системы – это старые модели реальности, учитывающие не все взаимодействия.

Чтобы устранить эти проблемы нужно переструктурировать реальность, т.е. построить новую структуру (модель реальности) в соответствии с изменившимися потребностями или функциями. Этим и занимается ТРИЗ.

- [1] Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. 2-е изд. – М: Московский рабочий, 1973.
- [2] <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/104.pdf>
- [3] Голдовский Б.И. // О логике работы с противоречиями, доклад к конференции TDS-2017.
- [4] <http://triz-summit.ru/205253/203840/204080/204052/>
- [5] [http://rus.triz-guide.com/innovative\\_design.html](http://rus.triz-guide.com/innovative_design.html)
- [6] Герасимов О.М. Презентация Центра инновационно-технологического консалтинга «Алгоритм» «Введение в методику инновационно-технологического проектирования G3-ID», Июль 28, 2008.
- [7] <http://www.gnrtr.ru/Generator.html?pi=204&cp=3>
- [8] <http://gnrtr.com/tools/ru/a06.html>
- [9] <http://triz-summit.ru/ru/205253/203840/204832/>
- [10] <http://triz-summit.ru/ru/confer/TDS-2006/203452/>
- [11] [http://www.ideationtriz.com/zslab/DE/TRIZ\\_forecasting.doc](http://www.ideationtriz.com/zslab/DE/TRIZ_forecasting.doc).
- [12] Холкин И.Н. Применение метода DIRECTED EVOLUTION для анализа и прогнозирования развития информационных систем (на примере технологии IN-MEMORY DATA MANAGEMENT, IMDM), Управление жизненным циклом информационных бизнес-систем Real-Time Enterprise 2.0.
- [13] Захаров А. Универсальная схема эволюции, 2008.
- [14] <http://gbtriz.com/ru/metod-guided-brainstorming>
- [15] <https://e-koncept.ru/2014/14297.htm>
- [16] Михайлов В.А. Основы теории систем и решения творческих технических задач / Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. 396 с.

## КОНКУРСНЫЕ МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Д.В. Сидоров

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*

С середины XX века, когда стал очевиден успех Кремниевой долины, не прекращаются попытки скопировать этот удачный опыт. Примеров подобных попыток десятки, но ни один не выдерживает сравнения с прототипом. Современные исследования показывают, что в вопросах предпринимательской культуры скрыто очень много неявного знания, что делает принципиально неполным чисто институциональное описание объектов, подобных Кремниевой долине. Сегодня принято называть Кремниевую долину и её аналоги инновационными экосистемами, намекая на сходство процессов, происходящих при взаимодействии экономических субъектов с биологическими процессами в живых системах.

Для исследования инновационных экосистем применяют две большие группы подходов: это системный структурно-ориентированный подход и подходы, базирующиеся на оценке интегральных показателей [1–5].

Системный структурно-ориентированный подход – это описание элементов инновационной экосистемы с указанием функционала и взаимосвязей.

Оценка интегральных показателей предлагает метрики, с помощью которых экосистемы можно сравнивать между собой, но при этом не учитываются их структурные различия.

Недостатком обоих подходов является возможность существования симулякров, которые формально имеют право называться экосистемами, но в реальности не рассматриваются предпринимателями как таковые.

Напрашивается аналогия с анатомией – наукой, отвечающей на вопросы об устройстве организма (в данном случае – взаимодействующего конгломерата организмов), но не дающей ответа на вопросы, почему и как он работает.

Инновационная экосистема – сложный динамический самосогласованный объект, который не может быть воссоздан через копирование своего мгновенного состояния.

Проблемы системного структурно-ориентированного подхода, равно как и подходов, базирующихся на интегральных показателях, проистекают из того, что в них инновационная экосистема рассматривается как самостоятельный феномен, наблюдаемый в моменте. Однако инновационная экосистема не является самостоятельным феноменом. Самостоятельным феноменом является жизненный цикл инновационного проекта.

Жизненный цикл инновационного проекта – это последовательность стадий, проходя которые исходная идея превращается в стабильный бизнес стараниями команды проекта. В процессе этой трансформации проект отличается от стабильного бизнеса тем, что ему требуются венчурные инвестиции для осуществления своей стратегии развития. Схема привлечения ресурсов в проект представлена на рис. 1.

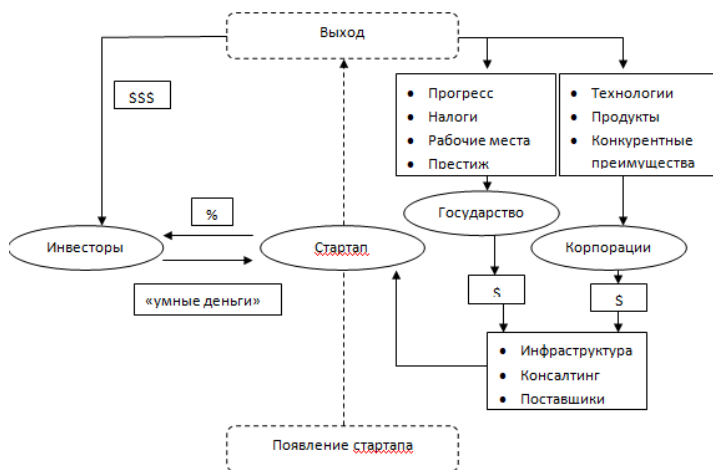


Рис. 1

На схеме показаны основные стейкхолдеры инновационного процесса, а также преимущества, ради получения которых они направляют свои ресурсы на развитие инновационных проектов. При этом важно понимать, что количество желающих получить финансирование, оправдывая это достижением научно-технического прогресса, созданием рабочих мест, ростом налогооблагаемой базы и другими благами, очень велико. Также велико количество различных инструментов, с помощью которых достигается эффективность распределения ресурсов.

Ситуация, когда несколько агентов конкурируют за право получить ресурсы, необходимые для своего развития, называется конкурсом. То есть вся траектория инновационного проекта внутри инновационной экосистемы представляет собой последовательность конкурсов. А поскольку ключевой активностью, отличающей экосистему, является эволюция инновационных проектов, то получается, что инновационная экосистема – это совокупность конкурсов по привлечению венчурных инвестиций разных стадий. Схематично такая модель представлена на рис. 2. Она отражает сокращение количества стартапов по мере движения от начальных стадий к финальным, а также показывает основные сценарии выхода из инновационной экосистемы: IPO, продажа стратегическому инвестору и превращение в регулярный стабильный бизнес [6]. В рамках данного подхода каждый конкурс рассматривается ещё и как источник проектов следующей стадии развития.

Представляется, что данный подход к описанию инновационной экосистемы может быть полезен при решении задач, связанных с построением и управлением развитием инновационной экосистемы, т.к. поскольку предлагает в качестве объектов управляющих воздействий унифицированные объекты – конкурсы инновационных проектов.

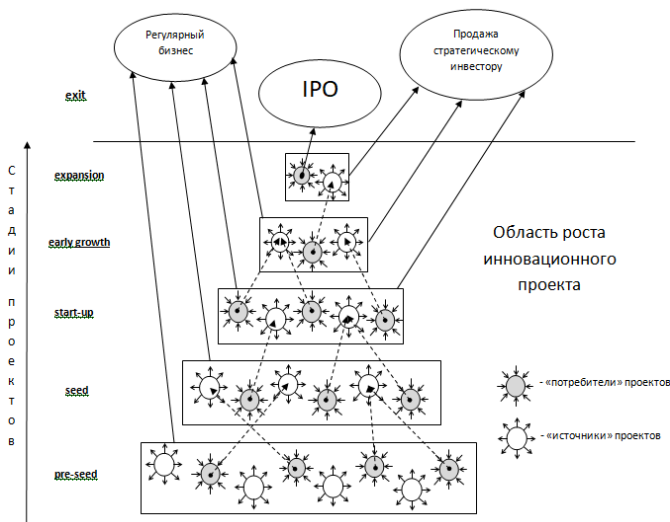


Рис. 2

Сбор обратной связи также упрощается, поскольку для этого можно использовать интегральные параметры объединённого конкурса, включающего в качестве этапов всю цепочку от привлечения посевного финансирования до выхода из экосистемы:

- количество проектов на входе в экосистему;
- количество проектов на выходе из экосистемы;
- количество промежуточных этапов;
- длительность прохождения проекта.

Наконец, обычные конкурсы инновационных проектов также позволяют получить информацию об экосистеме. Как оказалось, если определять насколько участие в них помогает стартапам переходить с одной стадии своего развития на другую, можно судить о состоянии экосистемы в целом [7].

- [1] Дежина И.Г., Салтыков Б.Г. // Проблемы прогнозирования. 2005. № 2. С. 118.
- [2] Moore, J.F. The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems. – NY: HarperCollins Publ Inc., 1997. 297 p.
- [3] Голиченко О.Г. // Инновации. 2003. № 6. С. 25.
- [4] Edquist C. (Ed.) Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations. – London: Pinter Publishers/Cassell Academic, 1997. 432 p.
- [5] Васин В.А., Миндели Л. Э. // Инновации. 2004. № 6.
- [6] Фияксель Э.А. Теория, методы и практика венчурного бизнеса. – СПб: Изд-во Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. 2006. 315 с.
- [7] Разина В.В., Сидоров Д.В., Фияксель Э.А. // Инновации. 2017. № 3. С. 34.

## ОБРАБОТКА СТЕРЕОПАРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА ЛОКАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА СМЕЖНЫХ КАДРАХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДАЛЬНОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

А.А. Одинцов, Д.С. Потехин

*Ковровская государственная технологическая академия  
им. В.А. Дегтярева*

В области обработки изображений вейвлет-преобразование получило большое распространение для задач сжатия и восстановления исходного изображения с хорошим сохранением качества, а также для фильтрации изображений с целью удаления шумов. Вейвлеты – обобщённое название особых функций, имеющих вид коротких волновых пакетов с нулевым интегральным значением с той или иной формой, локализованных по оси независимой переменной ( $t$  или  $x$ ) и способных к сдвигу по ней и масштабированию (сжатию/растяжению) [1].

На основе работ [2–4] рассмотрим возможность применения вейвлет-преобразования для обнаружения локальных особенностей на стереопаре изображений.

В компьютерном зрении для поиска объектов на изображении, помимо методик контурного анализа и поиска по шаблону, часто используются методики поиска ключевых точек. Их суть заключается в преобразовании изображений и выделении на них ключевых особенностей с последующим сравнением найденных точек между изображениями.

Предлагаемую методику поиска локальных особенностей можно отнести к методикам обнаружения ключевых точек, поскольку она направлена на вычисление промежуточной информации и обнаружение наиболее значимых областей на изображении. В данной методике при вейвлет-преобразовании (1) в качестве вейвлет-функции используется нормализованная матрица яркости в отношении к глобальному экстремуму, а в качестве исходной информации выступает яркостная составляющая исходного изображения [4]. В результате преобразования получится промежуточная матрица весовых коэффициентов для каждого пикселя исходного изображения, которая может быть пригодной для поиска локальных особенностей объектов:

$$W(x, y) = \sum_{i=0}^H \sum_{j=0}^W I(x+i, y+j) \times M(i, j), \quad (1)$$

где  $I(x, y)$  – значение яркости исходного изображения,  $M(i, j)$  – значение яркости нормализованной матрицы яркости,  $H$  и  $W$  – границы матрицы яркости.

На рис. 1 представлена пара изображений одной сцены, полученных со сдвигом камеры. Для данной пары изображений необходимо провести обнаружение локальных особенностей на каждом из них и сравнить найденные особенности между собой для поиска похожих объектов, затем обозначить область их расположения.



Рис. 1

Рассмотрим нормализацию матрицы яркости (рис. 2). Она заключается в сведении суммарного значения яркости к нулю в соответствии с заданным порогом. Для этого вычисляется количество пикселей переднего плана и фона, затем количество пикселей с яркостью меньше порога присваивается пикселям переднего плана, а отрицательное значение количества пикселей переднего плана присваивается фоновым пикселям. Это позволяет свести суммарное значение яркости к нулю:



Рис. 2

$$\begin{cases} M(x, y) = b, & \text{если } M(x, y) > p \\ M(x, y) = -f, & \text{если } M(x, y) \leq p \end{cases}, \quad (2)$$

где  $p$  – порог нормализации матрицы,  $b$  – количество пикселей меньше порога нормализации,  $f$  – количество пикселей больше порога.

Как уже говорилось ранее, результатом вейвлет-преобразования является промежуточная матрица весовых коэффициентов. Для визуализации результата разделим имеющиеся весовые коэффициенты  $W(x, y)$  на значения глобального экстремума в соответствии с их знаком. Далее приведём полученный результат к виду RGB. В итоге получится изображение, на котором участки с положительным значением свёртки представлены красным или жёлтым тоном, а отрицательные – синим или голубым (рис. 3).

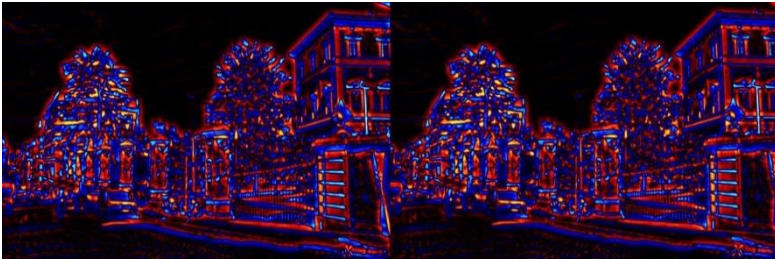


Рис. 3

Из рис. 3 видно, что все участки, которые имеют перепады градиента и наиболее удовлетворяют матрице яркости, отмечены жёлтым и белым цветом. Они являются областями локальных особенностей изображения и соответствуют углам, краям, линиям и пятнам.

Для поиска схожих локальных особенностей на левом и правом кадре воспользуемся алгоритмом на основе автокорреляции.

1. Возьмём в качестве искомого шаблона из промежуточной матрицы весовых коэффициентов участок левого изображения, содержащий локальные особенности.
2. Определим его эталонные весовые коэффициенты по формулам (3, 4), т.е. посчитав весовые коэффициенты суммы всех его значений и суммы его произведений самого на себя:

$$s = \sum_{j=0}^H \sum_{i=0}^W T(i, j) + T(i, j) \quad (3)$$

$$m = \sum_{j=0}^H \sum_{i=0}^W T(i, j) \times T(i, j) \quad (4)$$

3. Разобьём исходное изображение на четыре участка и посчитаем эталонные весовые коэффициенты для них.
4. Исходя из полученных значений, рассчитаем коридор ошибки.
5. По формулам (5, 6) проведём подсчёт весовых коэффициентов для каждого значения промежуточной матрицы правого изображения с использованием всего искомого шаблона и каждой его четверти в отдельности:

$$S(x, y) = \sum_{j=0}^H \sum_{i=0}^W W(x+i, y+j) + T(i, j) \quad (5)$$

$$M(x, y) = \sum_{j=0}^H \sum_{i=0}^W W(x+i, y+j) \times T(i, j) \quad (6)$$

6. Сравним десять полученных весовых коэффициентов для каждого значения с допустимой ошибкой, определим и обозначим на изображении наиболее совпадающую область.

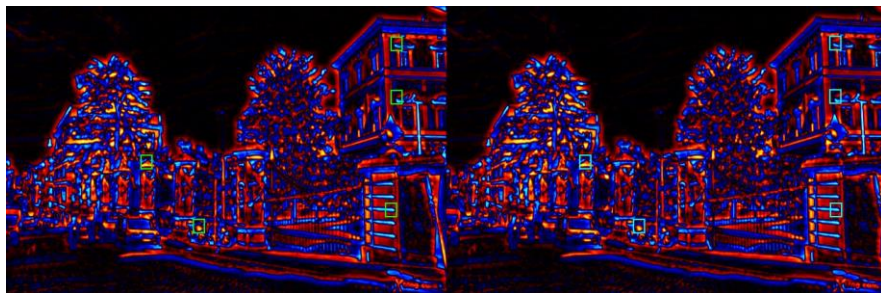


Рис. 4

Результатом работы такого алгоритма будет следующая пара изображений, представленная на рис. 4. На левом изображении зелёным отмечена интересующая нас область, а на правом бирюзовым выделена область наибольшего соответствия.

Рассмотрим, как влияет вид и размер вейвлет-функции на точность обнаружения схожих локальных особенностей левого и правого изображения.

Если взять матрицу яркости размером  $23 \times 20$  и начать с одного белого пикселя на чёрном фоне, постепенно увеличивая их число, то наименьшее число совпадающих областей будет на участке от одного пикселя до 5% белых пикселей от числа тёмных. Изменение вида вейвлет-функции фактически не повлияло на точность обнаружения локальных особенностей на стереопаре изображении.

Проанализировав влияние вида вейвлет-функции, рассмотрим влияние её размера на точность обнаружения локальных особенностей и количество похожих областей. Если для исходных изображений размером  $640 \times 428$  взять начальную матрицу яркости размером  $9 \times 6$  и постепенно, с небольшим шагом, увеличивать её размер до  $111 \times 96$ , то получится, что наиболее подходящим размером для яркостной матрицы будет размер от  $17 \times 14$  до  $61 \times 53$ .

В результате установлено, что наиболее подходящей вейвлет-функцией для изображений  $640 \times 429$  будет яркостная матрица размером от 2% до 10% от исходного изображения с соотношением белых пикселей к чёрным в пропорции не более 1:20.

- [1] Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: СОЛОН-Пресс, 2010. 400 с.
- [2] Чуи Ч. Введение в вейвлеты. – М.: Мир, 2001. 412 с.
- [3] Яковлев А.Н. / Введение в вейвлет преобразования. – Новосибирск: НГТУ, 2003. 104 с.
- [4] Штарк Г. Г. Применение вейвлетов для ЦОС. – М.: Техносфера, 2007. 192 с.



## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ОСНОВАННАЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ С ПЕРЕМЕННЫМ МАСШТАБОМ

Д.Н. Коробов, И.Е. Тарасов

*ФГБОУ ВО «КГТА им. В.А. Дегтярева»*

Системы управления получили широкое распространение в отечественном и зарубежном машиностроении [1]. В основном они используются в качестве приводных механизмов, например, в комплексах противовоздушной обороны (ПВО). В связи с этим повышение динамических характеристик и помехозащищенности таких систем управления является основной задачей, стоящей перед разработчиками. Необходимо отметить, что в качестве датчиков обратных связей используются индукционные датчики (датчики давления, СКВТ), причём качество и время обработки сигналов указанных датчиков напрямую влияет на динамические характеристики и помехозащищенность системы в целом. Таким образом, становится актуальной задача разработки новых методов определения параметров гармонических сигналов в системах управления.

Основным методом, применяемым в цифровой обработке сигналов для определения параметров гармонических сигналов, является дискретное преобразование Фурье [2, 3]:

$$F(m, f) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y(i) \cdot w(i-m) \cdot e^{-j \cdot 2\pi \cdot f \cdot i \cdot T}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество точек преобразования;  $y(i)$  – значение входной переменной (сигнала);  $w(i)$  – оконная функция;  $T = 1/f_0$  – период дискретизации сигнала;  $e^{j \cdot 2\pi f \cdot i \cdot T} = \cos(2\pi f \cdot i \cdot T) + j \cdot \sin(2\pi f \cdot i \cdot T)$  – базовые функции преобразования.

В качестве оконной функции, применяемой в дискретном преобразовании Фурье, наибольшее распространение получили две функции:

- оконная функция Хэмминга:  $w(i) = 0,54 - 0,46 \cdot \cos(2\pi \cdot i/N - 1)$ ;
- оконная функция Блэкмана:  $w(i) = 0,42 - 0,5 \cdot \cos(2\pi \cdot i/N - 1) + 0,08 \cdot \cos(2\pi \cdot i/N - 1)$ .

Указанные функции позволяют существенно уменьшить эффект Гиббса и повысить точность определения параметров гармонических сигналов. Чтобы определить параметры гармонических сигналов с точностью, требуемой для систем управления, необходимо использовать более одного периода сигнала, что негативно влияет на динамические характеристики системы управления. Следовательно, необходима разработка новых методик определения параметров гармонических сигналов для систем управления.

В [4] описывается вероятностный метод определения параметров процессов в нелинейных системах. Данный метод предлагает использовать функцию распределения плотности вероятности случайного процесса в измерительном канале для получения наилучших оценок идентификации параметров процессов вместо традиционных методов регрессионного анализа.

В данной работе предлагается применить указанный метод для поиска параметров гармонических сигналов. В качестве функции плотности вероятности предлагается ис-

пользовать закон распределения Гаусса. С учетом того, что входной сигнал имеет гармонический вид:  $f(x_i) = A_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot x_i \cdot T + \varphi_m)$ , функцию плотности вероятности определения параметров можно записать следующим образом:

$$P(A_m, \varphi_m) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{-\frac{(y(i) - f(x_i))^2}{\sigma^2}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{-\frac{(y(i) - A_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot x_i \cdot T + \varphi_m))^2}{\sigma^2}}, \quad (2)$$

где  $A_m$  – искомая амплитуда исследуемого сигнала;  $\varphi_m$  – искомая фаза входного сигнала;  $f_c$  – частота входного сигнала;  $\sigma^2$  – масштаб функции плотности вероятности.

Выражение (2) содержит две переменные ( $N$ ,  $\sigma^2$ ), которые определяют точность получаемого результата. Начальное значение масштаба функции плотности вероятности можно определить следующим образом:

$$\sigma^2 \geq 0,06 \cdot A_m + D[y].$$

Количество точек преобразования является величиной, зависимой от периода самого сигнала и количества точек на его период:

$$N \geq (0,2 \cdot f \cdot \Delta) / f_c.$$

Для оценки эффективности предлагаемой в данной работе методики, выполним сравнение среднеквадратического отклонения амплитуды сигнала, полученного разными методами с помощью выражений (1) и (2) в зависимости от отношения количества точек преобразования к периоду сигнала.

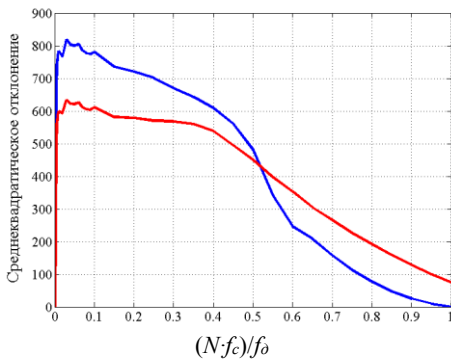


Рис. 1

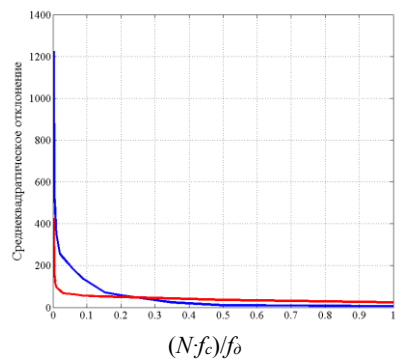


Рис. 2

На рис. 1 приведены результаты обработки тестового сигнала на основании дискретного преобразования Фурье разными оконными функциями. Красная линия – преобразование Фурье с окном Хэмминга, синяя – преобразование Фурье с окном Блэкмана. Как видно из рис. 1, окно Блэкмана позволяет получать требуемую точность при использовании половины периода тестового сигнала.

На рис. 2 приведены результаты определения амплитуды и фазы тестового сигнала на основании предлагаемой методики: красным цветом изображено СКО фазы сигнала,

синим – СКО амплитуды сигнала. Как видно из рис. 2, требуемая точность определения амплитуды и фазы получается по  $(N\hat{f}_d)/f_d \geq 0,2$  значениям полупериода исследуемого сигнала, что позволяет существенно улучшить динамические характеристики систем управления. Стоит отметить, что появляется возможность обрабатывать сигналы, для которых отношение сигнал/шум меньше 20 Дб за счет подбора значения дисперсии и количества точек преобразования.

Таким образом, применение предложенной методики в системах управления становится весьма перспективным направлением по сравнению с другими методами определения параметров гармонических сигналов, получившими более широкое распространение.

- [1] Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. С. 617.
- [2] Лей Э. Цифровая обработка сигналов для инженеров и технических специалистов. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 336 с.
- [3] Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. 192 с.
- [4] Тарасов И.Е. // Нелинейный мир. 2010. Т. 8, № 8. С. 521.

## ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СПЕКТРОАНАЛИЗАТОР РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА НА БАЗЕ ПЛИС XILINX

Д.С. Потехин, И.Е. Тарасов, М.А. Хренов, С.С. Чернышев, С.Д. Потехин

*ФГБОУ ВО «КГТА им. В.А. Дегтярева»*

Увеличение логической емкости ПЛИС и суммарной производительности в задачах цифровой обработки сигналов делает актуальным поиск новых подходов, которые могли бы получить преимущество от массово-параллельной архитектуры, характерной для ПЛИС. Вместе с тем следует обращать внимание на управление топологией кристалла для оптимального взаимного расположения компонентов. В данной статье рассматриваются подходы к разработке систем цифровой обработки данных с массово-параллельной архитектурой и пример проекта широкополосного спектроанализатора, построенного по схеме прямой свертки с анализирующей функцией. Проект выполнен на базе платы KC-705 с установленной FPGA Kintex-7, которая достаточно популярна в качестве средства освоения FPGA и создания прототипов устройств.

Только ограниченный класс анализирующих функций допускает выполнение быстрых преобразований. В качестве примера можно привести быстрое преобразование Фурье (БПФ) и быстрое вейвлет-преобразование. Эти преобразования вместо сложности  $O(n^2)$  имеют сложность  $O(\log_2 n)$ . Однако сохранение сложности  $O(n^2)$  позволяет достигать лучших показателей качества при обработке периодических сигналов, а также сигналов с нестационарными параметрами. Поэтому наряду с реализацией быстрых преобразований требуется реализация прямых операций свертки со сложностью  $O(n^2)$ , что является ресурсозатратной задачей.

Одним из существенных недостатков быстрого преобразования Фурье (БПФ) является высокая разреженность в области ВЧ вследствие использования периодичности функций, т.е. БПФ анализирует частоты  $f_{max}/i$ , где  $f_{max}$  – половина частоты дискретизации,  $i$  – целое число. При этом все преимущества БПФ теряются, т.к. для достижения все меньших частот приходится выполнять все больше вычислений, при этом улучшается подробность только НЧ области, а в области ВЧ наблюдается большая разреженность. Увеличение числа точек БПФ не приводит к уточнению спектра в низкочастотной области, поэтому использование АЦП с высокой частотой дискретизации малоэффективно.

В цифровой технике анализировать спектры принято с использованием логарифмической шкалы, которая позволяет с одинаковой степенью подробности рассматривать все диапазоны частот. При этом частота задается декадами или октавами. Пользоваться октавами наиболее удобно, т.к. упрощается децимация. На рис. 1 приведено сравнение распределения частот у БПФ (график А) и у алгоритмов на основе сверточных функций в логарифмическом масштабе с разрешением 10 точек на октаву (график В).

Выполнение свертки сигнала с вейвлет-функцией [1] весьма ресурсозатратная задача. Для выполнения свертки сигнала с хотя бы одной вейвлет-функцией требуется как минимум один (если вейвлет-функция комплексная, то два) блок умножения с накоплением (DSP). В недорогих ПЛИС таких блоков ограниченное количество, и необходимо эффективно использовать имеющиеся ресурсы, чтобы в идеальном случае каждый такт опорной частоты каждый используемый блок DSP выполнял какое-либо

действие. Повышения эффективности использования ресурсов можно добиться, реализуя один и тот же набор коэффициентов фильтров, но свертка с ними происходит с различными данными.

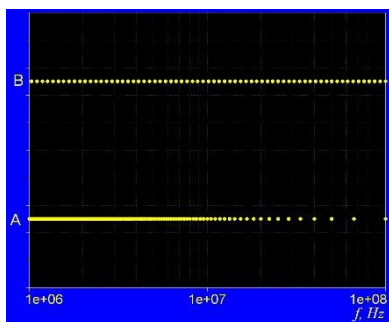


Рис. 1

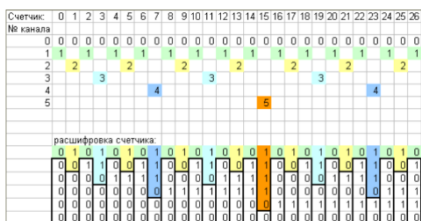


Рис. 2

Основная проблема – выполнить свертку сигнала с набором из  $N$  вейвлет-фильтров в нескольких октавах одновременно. Для обработки нулевой (самой высокочастотной) октавы фильтры работают непрерывно, т.е. каждая новая взятая выборка АЦП поступает на фильтр. В первой октаве (более низкочастотной) фильтрация может быть проведена за половину времени, а половину времени фильтр уже простаивает, во второй октаве фильтр работает четверть времени и т.д. В предлагаемом алгоритме оптимизации используется два набора фильтров: один – для нулевой октавы, а второй – для всех остальных октав (рис. 2).

В верхней части рис. 2 схематично представлено «запоминание» точек с АЦП для шести первых каналов (октав). Каждый такт АЦП (с приходом каждой новой точки с АЦП) происходит инкремент счетчика точек, и в зависимости от двоичного кода числа этого счетчика на одном наборе DSP (для одной октавы) можно выполнить свертку для любого количества октав (нижняя часть рис. 2). На нижней части рис. 2 цветом выделен номер октавы, для которой в этот такт пришла точка с АЦП, а нижняя часть двоичного кода числа, выделенная в рамку, обозначает индекс коэффициента сверточной функции. Таким образом, второй набор DSP, так же как и набор для нулевой октавы, каждый такт выполняет свертку, заблаговременно обладая информацией о том, из какой октавы пришла точка и с каким именно коэффициентом фильтра необходимо произвести свертку. Данный алгоритм является универсальным для любых задач, у которых есть основной поток данных и другие потоки, приходящие с частотой в  $2^n$  раз меньше.

В настоящее время реализован аппаратный ускоритель, содержащий 100 независимых частотных полос в пределах каждой октавы. Второй октавный ускоритель практически без ограничений позволяет путём прореживания входных отсчетов обеспечить анализ нижних октав. Частота анализируемых цифровых отсчетов составляет 160 МГц (при 14-разрядном входном сигнале) и может быть увеличена до значений 250–300 МГц в зависимости от примененных АЦП.

В основе разрабатываемого спектроанализатора – отладочная плата KC-705 разработки Xilinx с установленной ПЛИС XC7K325T (рис. 3). Применение современной ПЛИС обусловило достижение высоких показателей производительности: 64 GMAC/s, что соответствует гипотетическому сигнальному процессору с тактовой частотой 64 ГГц. Для платы KC-705 разработан модуль расширения в стандарте FMC с установленными двумя АЦП и регулируемым коэффициентом усиления (частота преобразования 160 МГц, 14 бит).



Рис. 3



Рис. 4

На рис. 4. представлен работающий широкополосный спектроанализатор. В нём реализован видеоконтроллер с выходом HDMI 1080p, позволяющий наблюдать сигнал и результаты спектрального анализа на подключенном к плате мониторе без передачи данных в РС. Кроме того, реализован цифровой гетеродинный приёмник, что позволяет прослушать любой интересующий канал.

- [1] Потехин Д.С., Карпенков А.С., Гришанович Ю.В., Тетерин Е.П. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2009, № 6 (1). С. 79.

## **КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СЕТИ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ АЭРОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОВО-АЭРОЗОЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ**

**А.В. Жарук, В.В. Чукин**

*Российский государственный гидрометеорологический университет*

В настоящее время человечество переживает эпоху стремительного научно-технического прогресса, непосредственно затрагивающего все сферы его деятельности. В частности, это относится и к мониторингу атмосферы, где новые средства обработки и получения информации помогают своевременно формировать картину реальной обстановки в окружающей среде, выявлять угрозу загрязнения атмосферы, а также прогнозировать последующие изменения в ней.

Атмосфера загрязняется как естественными, так и искусственными источниками, причем более 90% загрязнений имеют антропогенную природу. Антропогенные источники загрязнения истощают свободную атмосферу и превышают естественную возможность экосистемы адаптироваться или покрывать изменения концентрации. Следует отметить, что все созданные человеком источники (промышленность, сельское хозяйство, транспорт, бытовые источники и т.д.) вносят вклад в уровень качества воздуха вместе с источниками естественного происхождения. Основными соединениями, обладающими наибольшей степенью угрозы для здоровья человека, являются: оксид углерода, диоксид серы, формальдегид, бенз(а)пирен, пары и капли углеводородов, стирол, а также тяжелые металлы (Pb, Hg, Ni, Cd) [1]. Следует также отметить важность контроля содержания озона в атмосфере, так как его многократное превышение опасно для жизни растений, животных и человека.

Проблему повсеместного мониторинга и контроля атмосферы можно разрешить при помощи мультикоптеров, потенциал которых в данной сфере частично начал раскрываться лишь в последнее десятилетие. Его возможности позволяют создать летающий комплекс, который будет регистрировать изменения химического состава воздуха, фиксировать очаги превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, а также вести фото- и видеосъемку над заданной территорией и на любой высоте в пределах его технических возможностей.

Связующим звеном между мультикоптером и получением информации с установленных на нём датчиков является программируемая плата Arduino. Для осуществления приёма данных с датчика в среде программирования Arduino IDE пишется специальная программа-скетч, в которой задаётся набор выполняемых последовательностей. Подвид плат расширения Arduino Shield, состыковываемый с платой Arduino и значительно расширяющий её возможности, позволяет передавать данные с датчика по радиоканалу: GPRS, Wi-Fi (рис. 1 и 2 соответственно).

На данный момент существует огромное количество датчиков с оптимальными характеристиками для контроля содержания загрязняющих веществ в атмосфере: вес до 5 г, инертность меньше 30 с, точность измерений в единицах миллиардной доли объёма ppb. Вкупе с лёгкими способностями мультикоптера и функционалом платы Arduino появляется возможность создания аэромобильного измерительного комплекса, способного оперативно фиксировать превышение ПДК, а также точно измерять разность, на основе которой будут применяться те или иные меры защиты.



Рис. 1



Рис. 2

Относительная дешевизна и минимальный расход человеческого ресурса на создание и поддержание рассматриваемого устройства в будущем будет способствовать появлению полуавтономной сети сбора информации о состоянии атмосферы по аналогии с действующей метеорологической. На рисунке 3 приведен концепт такой сети на примере г. Санкт-Петербурга. [2].

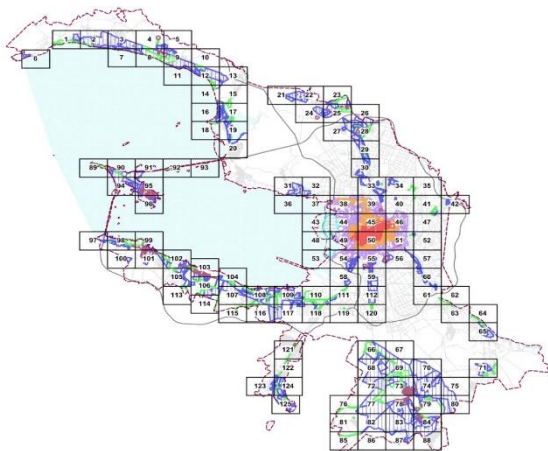


Рис. 3

Поскольку в обозримом будущем не прогнозируется тенденции к снижению интенсивности использования автомобильного транспорта или резкого перехода к альтернативным и безопасным видам топлива, своевременное развертывание такой сети будет способствовать не только предупреждению, но и, возможно, избеганию экологического кризиса, сопутствующего развитию всех крупных городов.

[1] Popescu F., Ionel I. Anthropogenic air pollution sources. / In book “Air Quality” Edd. by Ashok Kumar. Chapter 1. 2010. 382 p.

[2] <https://kgiop.gov.spb.ru/zony-ohrany/>



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТЕОЗОНДА НА ПЛАТФОРМЕ БПЛА

Я.В. Качнов, В.В. Чукин

*Российский государственный гидрометеорологический университет*

В данной работе анализируются результаты лабораторных и полевых испытаний разработанного метеозонда, размещаемого на платформе беспилотного летающего аппарата (БПЛА). Приводятся сведения о комплектации метеозонда и точности измерений. Даются рекомендации по совершенствованию метеозонда.

В приземном слое атмосферы наблюдаются вертикальные градиенты температуры и влажности в сотни раз большие, чем в вышележащей свободной атмосфере. Следовательно, приземный слой требует более детального мониторинга. Существуют самые разные методы зондирования атмосферы, такие как лазерное зондирование, зондирование с космических систем, зондирование с помощью микроволнового радиометра и другие. Но все эти методы достаточно дороги в эксплуатации и могут быть использованы далеко не в любых условиях.

Разработанный метеозонд основан на модуле «Wemos D1 Mini» с подключенными к нему платами расширения [1]. «Wemos D1 Mini» и соответствующие платы расширения удобны своей модульной конструкцией, что определило выбор именно этой платформы в качестве основы метеозонда. С использованием двойной платы расширения конструкция стала еще компактнее за счет подключения к ней микроконтроллера ESP8266, датчика температуры и влажности воздуха DHT22, устройства чтения-записи Micro SD-карт, а также совмещенного датчика температуры, влажности воздуха и атмосферного давления BME280.

В таблице приведены характеристики датчиков, используемых в метеорологическом зонде. Датчики DHT22 [2] и BME280 [3] могут измерять температуру и влажность, но точность датчика DHT22 выше. Поэтому BME280 используется только для измерения атмосферного давления. В метеорологический зонд электрическое питание поступает через разъем Micro USB от аккумулятора БПЛА.

Табл.

№	Название датчика	Измеряемый параметр	Пределы измерений	Точность измерений
1	DHT22	температура воздуха, °C	от -40 до +80	$<\pm 0,5$
		влажность воздуха, %	от 0 до 100	$\pm 2$
2	BME280	атмосферное давление, гПа	от 300 до 1100	$\pm 1,0$
		температура воздуха, °C	от -40 до +85	$\pm 0,5$
		влажность воздуха, %	от 0 до 100	$\pm 3$

В первую очередь была определена тепловая инерция датчика температуры DHT22. В лабораторных условиях были осуществлены измерения путём предварительного охлаждения датчика и последующего размещения в комнатных условиях. Обработка результатов измерений осуществлялась с использованием скриптов на языке программирования Python и заключалась в расчёте времени тепловой инерции датчика температуры и визуализации результатов измерений, которые представлены на рисунке 1. Тепловая инерция датчика температуры оказалась равной около 670 с (более

11 мин). Это время сопоставимо со всем временем нахождения БПЛА в полете (20 мин).

Перед запуском БПЛА метеозонд крепится к нижней части БПЛА и подключается к бортовой электрической сети БПЛА. При включении метеорологического зонда измерения всех метеопараметров начинают автоматически записываться на SD-карту с интервалом в 2 с. Затем БПЛА вместе с зондом поднимается вертикально вверх до 200 м и опускается обратно на землю. После приземления метеозонд снимается с БПЛА, а БПЛА разбирается. Для обработки полученных данных разработано специализированное программное обеспечение. На рисунке 2 изображен график результатов измерений вертикального профиля влажности воздуха. Максимальная высота, на которую поднимался БПЛА, составила 210 м.

Проведенные эксперименты показали принципиальную возможность осуществления измерения метеопараметров приземного слоя атмосферы с борта БПЛА, но конструкция метеозонда должна быть модифицирована: необходимо сделать аспирацию воздуха для уменьшения тепловой инерции датчика температуры. Следует отметить, что метеорологический зонд имеет стоимость ниже одноразовых метеозондов и при этом многократен в использовании.

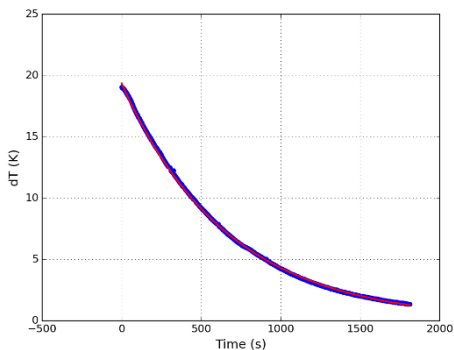


Рис. 1

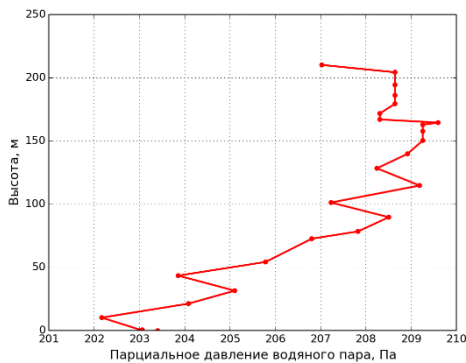


Рис. 2

[1] <https://www.wemos.cc>

[2] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

[3] [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280\\_DS001-10.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280_DS001-10.pdf)

## ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИИ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ»

О.Д. Лазарева, В.В. Чукин

*Российский государственный гидрометеорологический университет*

Для многих регионов земного шара, на территории которых располагаются сейсмически активные зоны, актуальна разработка методики, позволяющей точно определить силу, эпицентр и временной диапазон сейсмической активности. В периоды, предшествующие сильным сейсмическим событиям, регистрируются возмущения электронной концентрации ионосферы над областью эпицентра. Выявление предвестников землетрясения выполняется с помощью фиксирования отклонений полного электронного содержания (ПЭС) относительно усредненных значений электронной концентрации. Существует метод мониторинга ионосферы, основанный на использовании наземной регистрации одночастотными навигационными приемниками радиосигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) и последующего определения ПЭС ионосферы по результатам обработки кодовых и фазовых измерений задержки радиосигнала. Метод основан на определении разностей между двумя значениями псевдодальностей, измеренных по коду и по фазе несущей частоты радиосигнала [1]:

$$TEC = \frac{(\Delta P_k - \Delta L_k) \cdot f^2}{80.8 \cdot [m_i(\beta_k) - m_i(\beta_{k-1})]} + \varepsilon$$

где  $(\Delta P_k - \Delta L_k)$  – приращение псевдодальностей, измеренных по дальномерному коду и фазе несущей частоты;  $m_i(\beta_k) - m_i(\beta_{k-1})$  – разность отображающих функций, предназначена для пересчета вертикальной задержки сигнала в наклонную;  $TEC$  – полное электронное содержание ионосферы [2].

Сравнение полученных значений с параметрами «спокойной» ионосферы позволяет делать выводы о предстоящей в ближайшие часы сейсмической обстановке.

С развитием технологий, в частности технологии IoT («Интернет вещей»), появляются все новые средства решения прикладных задач. Интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT) – это надежная сеть устройств со встроенной электроникой, программным обеспечением и датчиками. Технология IoT позволяет передавать данные по беспроводному каналу связи, самостоятельно обрабатывать их, не требуя вмешательства человека. В качестве современного инструмента часто используется открытая программируемая аппаратная платформа Arduino, состоящая из печатной платы с микроконтроллером. Основным достоинством платформы Arduino является возможность собрать устройство полностью персонализированным и отвечающим индивидуальным потребностям пользователя.

Для мониторинга атмосферы с использованием приемника сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) к Arduino подключается специальный модуль, например, uBlox NEO-8M. Таким образом на платформу Arduino с подключенного к ней ГНСС модуля поступает информация о времени задержки сигнала. Модуль uBlox NEO-M8N использует сигналы космических аппаратов, чтобы определить расстояние до каждого спутника на орбите, передающего навигационный радиосигнал.

Использование технологии «Интернета вещей» для сбора информации с множества ГНСС приемников, подключенных к сети Интернет, дает уникальную возможность получать оперативную информацию о распределении ПЭС с высоким пространственным разрешением для выявления эпицентра готовящегося землетрясения. Возможность создания густой измерительной сети достигается за счет создания дешевых ГНСС-приемников на основе платформы Arduino с подключенным дополнительным ГНСС-модулем. Определение ионосферной задержки радиосигнала и расчет ПЭС ионосферы осуществляются непосредственно в ГНСС-приемнике. Результаты передаются по беспроводному каналу связи через глобальную сеть Интернет на специализированный сервер, где происходит построение карт ПЭС ионосферы и выявление предвестников землетрясений.

Совместное применение одночастотного метода определения полного электронного содержания и технологии «Интернета вещей» в значительной мере расширяет возможности своевременного оповещения о готовящейся сейсмической активности. Появляется время на подготовку и, в случае необходимости, оперативное реагирование, что поможет предотвратить большое число человеческих жертв, а также сократит влияние разрушений, вызванных землетрясениями, на все сферы жизни.

- [1] Казанцев М.Ю., Фатеев Ю.Л. // Журнал радиоэлектроники. Электронный журнал. – РАН, 2002. № 12 (<http://jre.cplire.ru/jre/dec02/6/text.html>).
- [2] Чукин В.В. // Семинар «Дистанционные методы зондирования природной среды» Санкт-Петербург, 2013.

## **МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ЦЕЛЬЮ СОСТАВЛЕНИЯ КАРТ ГОЛОЛЕДНОЙ ОПАСНОСТИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**Т.А. Липатов, В.В. Чукин**

*Российский государственный гидрометеорологический университет*

Одной из важных проблем автомобильного транспорта является поддержание надлежащего состояния дорог. При нарушении их целостности, изменении структуры поверхности, уменьшения коэффициента сцепления повышается риск возникновения аварии. Кроме того, подобные изменения могут вызвать и другие последствия, ведущие к дополнительным финансовым расходам.

В данной работе описан разрабатываемый авторами способ предупреждения одной из самых распространенных в северных регионах проблем автомобильных дорог – гололеда. Конечная цель проводимых исследований – составление карт гололеда в режиме реального времени.

Для достижения этой цели необходимо выполнить несколько задач:

- разработать измерительный прибор;
- разработать алгоритмы передачи, приёма и обработки полученных данных;
- разработать программное обеспечение, необходимое для работы систем.

В ходе проведенных работ были разработаны прототипы двух приборов для измерения температуры дорожного полотна: контактный и бесконтактный.

Контактный прибор состоит из платы Arduino Nano на микроконтроллере Atmega328, датчика температуры DHT22, WiFi-модуля ESP8266-12E и аккумуляторной батареи. Также предполагается установка слот-модуля для microSD карт для регистрации данных измерений. Суть методики заключается в измерении температуры воздуха на высоте 0,5 м и вычислении температуры поверхности дороги по заданному алгоритму. Испытания прибора выявили ряд недочетов в алгоритме обработки данных, а также некоторые ошибки, связанные с тепловой инерцией термометра.

Бесконтактный прибор также состоит из платы Arduino Nano на микроконтроллере Atmega328, WiFi-модуля ESP8266-12E и аккумуляторной батареи. Чувствительным элементом прибора является дистанционный термометр MLX90614, с помощью которого и производится измерение температуры поверхности дороги на основе регистрации излучаемого дорогой инфракрасного излучения. Используемый WiFi-модуль служит как для отправки данных на сервер, так и для определения местоположения. Отправка данных будет осуществляться через открытые точки доступа и через точки доступа участников данной сети. Позиционирование на местности в крупных городах с помощью WiFi даёт результат с достаточной для эффективной работы точностью.

Предполагается возможность оснащения прибора GPRS или 3G-модулем для передачи данных на территориях, на которых передача данных через WiFi невозможна. Для определения местоположения вне зоны действия густой сети WiFi, можно использовать GPS/ГЛОНАСС-модуль, который может работать в любой точке планеты.

Использование WiFi-модуля для передачи данных и геопозиционирования актуально с экономической точки зрения. Надо иметь в виду, что при замене этого модуля на 3G и GPS/ГЛОНАСС стоимость прибора возрастет на 500%, но даже при таком увеличении цены, она не будет слишком высокой.

Следует отметить некоторые нюансы по работе с инфракрасным термометром, связанные с различной излучательной способностью предметов. Большинство покрытий дорог обладает одинаковой излучательной способностью равной 0,95. Излучательная способность льда – 0,98. Получается, что ошибка, возникающая из-за неучета разности коэффициентов лежит ниже уровня погрешности измерений ИК-термометром. Это утверждение актуально для температур выше  $-25^{\circ}\text{C}$ . Однако погрешности измерений в диапазоне от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $-45^{\circ}\text{C}$  также не являются критическими и могут быть учтены программными средствами прибора.

Необходимо упомянуть о влиянии температуры воздуха на показания ИК-термометра. Это приводит к возникновению ошибок в показаниях прибора. Для исключения таких ошибок в корпус модуля MLX90614 встроен контактный датчик температуры, с помощью которого можно учитывать и компенсировать программными средствами возникающие ошибки.

Итак, в работе предложено два подхода к определению температуры дорожного полотна с целью диагностики гололеда. Методика контактного измерения температуры воздуха на уровне 0,5 м (уровень бампера автомобиля) обладает рядом недостатков, связанных со значительными градиентами температуры над поверхностью автодороги. Предпочтительным является метод бесконтактного измерения непосредственно температуры дорожной поверхности на основе регистрации излучения в инфракрасном диапазоне длин волн [1].

Для первичной обработки результатов измерений планируется применять цифровой фильтр Калмана. После вторичной обработки на сервере данные будут отправлены на устройства пользователей в виде карты с графическим обозначением участков с гололедом. Кроме того, на основе получаемых данных и метеорологической информации, возможно краткосрочное прогнозирование гололеда, в частности, с помощью модели METRo [2]. Осуществление тестирования системы планируется не только в крупных городах, но и в условиях Крайнего Сервера.

[1] Jonsson P., Riehm M. // J. of Appl. Meteorol. 2012. Vol. 29. P. 846.

[2] Crevier L.-P., Delage Y. // J. of Appl. Meteorol. 2001. Vol. 40. P. 2026.

## МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В.Г. Яхно

*Институт прикладной физики РАН*

Формализованное описание механизмов поведения живых систем привлекает практических исследователей с незапамятных времен, а в настоящее время в связи с развитием компьютерных технологий такие работы стали особенно актуальными. При рассмотрении задач формализованного описания живых систем используются экспериментальные данные об архитектуре путей передачи сигналов, а выделяемые этапы динамических режимов обработки сопоставляются с устоявшимися «стереотипными» действиями, которые большинству людей представляются вполне понятными (режимы осознания сигналов, интуитивный процесс, планирование, различение, волевое решение и другие режимы).

В физическом методе исследования обычно выделяются три основных взаимосвязанных этапа: а) выбирается «базисная модель» на основе экспериментальных данных (наиболее характерные переменные для изучаемого объекта и архитектурная схема их взаимодействия); б) изучаются возможные динамические режимы функционирования такой модели с помощью соответственно выбранных (обычно разработанных ранее) инструментальных методов; в) формируется оценка адекватности выбранного модельного описания в зависимости от соответствия модельных режимов поведения и экспериментально регистрируемых пространственно-временных режимов изучаемого объекта. Исходя из правила «Практика – критерий истины» происходит корректировка моделей, причем выбор данных, обосновывающих корректировку обычно берется из областей, находящихся за пределами «зоны ответственности» модельного описания.

В настоящее время можно выделить четыре группы моделей, которые могут описывать характерные функциональные операции, связанные с так называемыми «загадочными» механизмами работы мозга живых систем:

- 1) быстрая обработка больших потоков информационных сигналов (модельные модули 1-го уровня);
- 2) настройка простейших когнитивных систем (модельные модули 2-го уровня) на различные изменения в текущих «обстоятельствах» выполняемой работы и распознавание информационных сигналов (осознанный, бессознательный выбор в текущей ситуации наиболее «оптимальной» цели, возможности использования «субъективной реальности» в работе такого вида систем и т.п.);
- 3) иерархичное описание сложных информационных сигналов, позволяющее осуществлять многоуровневые режимы обработки входных сигналов (осознанные, бессознательные, интуитивные), а также управление состоянием живых распознающих систем для формирования «профессиональных», адекватных реакций на внешнее воздействие (модельные модули 3-го уровня);
- 4) процедуры развития, трансформаций в иерархичной архитектуре живых распознающих систем для расширения функциональных возможностей системы и повышения её «профессионализма» на внешние природные воздействия, при этом используются механизмы преодоления противоречий («стресса и шока») в условиях разного вида «диссонансов» или происходит разрушение системы (модельные модули 4-го уровня). Приведены примеры описаний таких моделей, которые можно

рассматривать как элементы инструментария для технического конструирования и формирования языка модельного описания.

Выделено рассмотрение концептуальных процессов в простейшей когнитивной системе (модуль 2-го уровня). В ней используется минимально необходимый набор компонентов, позволяющий выполнить процедуры по формированию «интерпретаций» внешних сигналов, на их основе генерировать предсказания, внутренние прогнозы, что и составляет основу «субъективной реальности» живой системы. С помощью представленных «ресурсных диаграмм» показано, как динамические режимы обработки входных сенсорных сигналов можно сопоставить с осознанными, бессознательными, инстинктивными, а также интуитивными режимами восприятия и принятия решений. Более того, на основе известного набора экспериментальных данных выдвигается утверждение, что определяющий признак живой системы связан с возможностью осуществления простейшей когнитивной системой процедуры создания внутренней интерпретации входного сигнала и использования этой интерпретации для оптимизации текущего состояния системы на основе её прошлого опыта.

Показано, что фиксация состояний или характерных динамических процессов модельных модулей 2-го уровня в индексной форме (аналог эпизодической памяти), позволяет создавать описание как входных сигналов, так и состояний модельных модулей в виде знаковых сигналов, а также рассматривать процедуры самоформирования целей в таких простейших когнитивных системах.

Варианты динамических структур для взаимосвязанных мотивов, иерархии ожидаемых образов, протекающих на разных уровнях сознательных и бессознательных процессов, принятых на этих уровнях решений, рассматриваются на примерах адаптивных распознающих систем с иерархической организацией (модельные модули 3-го уровня). В них можно выделить модули «Самость» (или «ЭГО», или «Я»), которые отвечают за верхние уровни управления в такой иерархической «живой» системе. При этом в многоуровневых режимах обработки входных сигналов и влияния их на модули «Самость» выделяются те, которые осознаются индивидом, и те, которые практически влияют из подсознательных структур на модуль «Самость», однако индивидом не осознаются.

Рассмотрены примеры, связанные со специализированными структурами, которые реализуют качественно разные виды алгоритмов обработки информационных сигналов: а) «одномоментное» принятие решений по ассоциациям, обычно проводят аналогию с работой «правого» мозга; и б) поэтапно логическое принятие решений с множественными промежуточными результатами, обычно проводят аналогию с работой «левого» мозга. Использование таких представлений позволяет классифицировать состояния живой системы по виду приоритетно используемых системой алгоритмов обработки сигналов.

Продемонстрирована работоспособность данного модельного подхода при интерпретации известных экспериментальных данных и разработке версий технических аналогов живых систем.



Секция «Физические основы и практическое применение технологий  
беспроводной связи и информационно-телекоммуникационных технологий»

Заседание секции проводилось 16 мая 2017 г.  
Председатель – Л.Ю. Ротков, секретарь – А.А. Рябов.  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.