

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 004.056

А.А. Панченко**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОНИТОРИНГА РАДИОЭФИРА
С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ РАДИОСИСТЕМЫ
НА ОСНОВЕ ЧИПА RTL2832U**

Проведен анализ возможностей ТВ-тюнера на чипе RTL2832U по захвату и оцифровке радиосигнала с целью его использования в составе программно-определяемой радиосистемы (ПОР). Построен экспериментальный стенд с подключением данного устройства к пакетам MatLab и Simulink и выполнена оценка практически достижимых значений параметров ТВ-тюнера. Предложены варианты программных средств для создания ПОР мониторинга радиоэфира на базе стационарных и мобильных устройств.

Ключевые слова: радиомониторинг, закладочное устройство, программно-определяемая радиосистема (ПОР), SDR, ТВ-тюнер, RTL2832U.

Введение. Любое предприятие, даже небольшое, обладает информацией, составляющей коммерческую тайну, незнание которой другими позволяет ему занимать устойчивое положение на рынке. Появление доступных по цене устройств негласного съёма информации (закладочных устройств согласно ГОСТ Р 51275-2006) повышает вероятность их использования как конкурентами, так и недовольными работниками, что создаёт угрозу утечки конфиденциальной информации [1]. Особо выделяются устройства для съёма акустической речевой информации, которые сложно обнаружить визуально, что делает актуальной задачу их поиска по сигналу, излучаемому в радиоэфир.

На рынке представлено достаточное количество комплексов радиомониторинга, позволяющих успешно решать данную задачу, но не подходящих для малых предприятий ввиду их высокой стоимости и сложности приобретения (особенно из-за санкций против России). Актуальность таких мощных комплексов для малых предприятий также небольшая вследствие низкой квалификации вероятного злоумышленника и использования им дешёвых типовых устройств [2]. Такие «закладки» представляют из себя компактные устройства на основе типовых электронных компонентов с низкими вычислительными возможностями и батарейным питанием, что предопределяет применение простых (аналоговых) способов обработки, модуляции, кодирования и узкополосной передачи речевого сигнала.

Адекватным решением в данном сегменте является построение приёмника сигналов от «закладок» с возможностями сканирования широкого диапазона частот, анализа и демодуляции обнаруженных радиосигналов по технологии SDR (Software-defined radio, программно-определяемая радиосистема, ПОР) [3] с использованием обычного компьютера для реализации программной компоненты. При этом появляется возможность использовать сложные динамически изменяющиеся алгоритмы цифровой обработки сигналов, реализованные в программной части системы, при этом аппаратная компонента остается в неизменном минимально необходимом виде.

Доступным вариантом аппаратной компоненты ПОР, реализующей функции захвата и оцифровки радиосигналов, является ТВ-тюнер на основе чипа RTL2832U стоимостью менее 12 долларов США, в котором обнаружена возможность работы в режиме непосредственного доступа к потоку оцифрованных данных [4].

Целью данной работы является исследование возможностей такой ПОР для решения задач мониторинга радиоэфира.

Теоретические исследования. ТВ-тюнеры на базе данного чипа включают в свой состав два основных компонента: сам чип RTL2832U и радиомодуль (RF-frontend). Типовая блок-схема ТВ-тюнера приведена на рисунке 1.

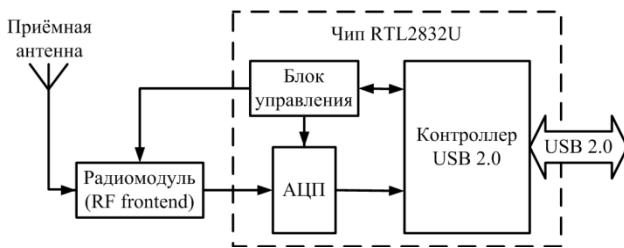


Рисунок 1 – Блок-схема ТВ-тюнера

Чип RTL2832U в составе ТВ-тюнера выполняет оцифровку радиосигнала с использованием встроенного АЦП с частотой дискретизации до 3,2 млн сэмплов в секунду при разрешении 8 бит и передачу результатов в компьютер по интерфейсу USB 2.0. В качестве радиомодуля совместно с RTL2832U используется один из чипов, приведенных в таблице.

Характеристики радиомодулей

Производитель и модель радиомодуля	Диапазон частот, МГц	
	Полный	Пропуск
Elonics E4000	52-2200	1100-1250
Rafael Micro R820T	24-1766	Нет
Rafael Micro R828D	24-1766	Нет
Fitipower FC0013	22-1100	Нет
Fitipower FC0012	22-948	Нет
FCI FC2580	146-924	308-438

Большинство из представленных радиомодулей имеют непрерывный частотный диапазон, но в некоторых моделях он состоит из двух непересекающихся поддиапазонов (имеется пропуск в полном диапазоне частот).

Радиомодуль Elonics E4000 снят с производства, поэтому далее рассматривается чип Rafael Micro R820T, полностью покрывающий диапазон частот от 24 до 1766 МГц. Этот радиомодуль имеет встроенный предусилитель с коэффициентом усиления от +1 дБ до +48 дБ. Максимальная мощность входного сигнала +10 дБм. Коэффициент шума (Noise Figure) 3,5 дБ, фазовый шум (Phase Noise) -98 дБн/Гц при отстройке 10 кГц.

Для решения задачи мониторинга широкого диапазона частот с использованием описанной выше аппаратной компоненты ПОР наиболее естественными являются переход из временной области в частотную и получение амплитудного и фазового спектров радиосигнала. Наряду с традиционно используемым преобразованием Фурье в современных цифровых системах применяется также преобразование Уолша (технология CDMA в системах сотовой связи, ГЛОНАСС и других приложениях). Преобразование Уолша представляется перспективным за счет более низкой вычислительной сложности и его использование предполагается в дальнейшем.

С выхода ТВ-тюнера поступает сигнал в ви-

де последовательности цифровых отсчетов с частотой дискретизации до 3,2 млн сэмплов в секунду разрядностью по 8 бит каждый, что предполагает использование дискретного преобразования Фурье. Наиболее эффективным с вычислительной точки зрения является алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ, FFT), осуществляющий выполнение операций над группой последовательных сэмплов, число которых является степенью двойки ($P = 2^n, n \in \mathbb{N}$).

В соответствии с теоремой Котельникова ширина полосы частот при максимальной поддерживаемой чипом RTL2832U частоте дискретизации составляет 1,6 МГц. Поскольку входные данные для алгоритма БПФ являются вещественными числами (полученными из целых значений сэмплов), то результат БПФ в этом случае становится эрмитово-симметрическим (hermitian-symmetric), что позволяет использовать в последующих вычислениях лишь его половину, экономя при этом память и сокращая число необходимых вычислительных операций.

Если через P обозначить количество точек БПФ (которое совпадает с числом сэмплов, подаваемых на вход алгоритма), то в получившемся спектре будут представлены $P/2$ частотных компонент и постоянная составляющая (нулевая гармоника). В результате частота каждой из компонент спектра f_k определяется формулой

$$f_k = F \cdot \frac{k}{P}, \quad k = \overline{0, P/2}, \quad (1)$$

где F – частота дискретизации чипа RTL2832U, k – номер частотной компоненты.

Само же значение k -й компоненты представляет собой комплексное число. Поскольку алгоритм БПФ дает на выходе ненормализованный спектр, значение каждой из частотных компонент требуется разделить на P . В результате k -й элемент спектра будет иметь вид

$$Z_k = \frac{X_k + iY_k}{P},$$

где X_k – действительная, а Y_k – мнимая часть k -й компоненты спектра по результатам БПФ.

Амплитуда и фаза частотной компоненты определяются выражениями (2) и (3) соответственно:

$$A_k = |Z_k| = \frac{\sqrt{X_k^2 + Y_k^2}}{P}, \quad (2)$$

$$\varphi_k = \arctg\left(\frac{Y_k}{X_k}\right). \quad (3)$$

В результате амплитудный спектр является функцией $A_k(f_k)$, а фазовый спектр – функцией

$\varphi_k(f_k)$, где f_k определяется выражением (1). Амплитудный спектр позволяет получить информацию о мощности радиосигнала на заданной частоте и выявить по этому признаку ведущую радиопередачу.

Экспериментальные исследования. Для оценки реальных возможностей ТВ-тюнера был использован следующий тестовый стенд:

- ТВ-тюнер на чипе RTL2832U с радиомодулем Rafael Micro R820T со штатной антенной;
- персональный компьютер под управлением операционной системы (ОС) Arch Linux x64;
- среда MatLab 2013a с пакетом Simulink;
- библиотека поддержки работы с ТВ-тюнером rtl-sdr версии 0.5.3 [5];
- набор библиотек для работы с ТВ-тюнером через интерфейс rtl-sdr в MatLab и Simulink [6].

В Simulink была создана модель, включающая блок управления ТВ-тюнером и блок анализатора спектра, выполняющего 1024-точечное БПФ. Полученные изображения с экрана анализатора спектра представлены на рисунке 2. На верхнем графике присутствует узкополосный сигнал с частотной модуляцией (NFM), принятый при базовой частоте радиомодуля 147 МГц, а на нижнем – широкополосный сигнал (WFM) при базовой частоте радиомодуля 69 МГц. Частота дискретизации АЦП в обоих случаях составляла 2 млн сэмплов в секунду, что соответствует ширине отображаемой полосы в 1 МГц.

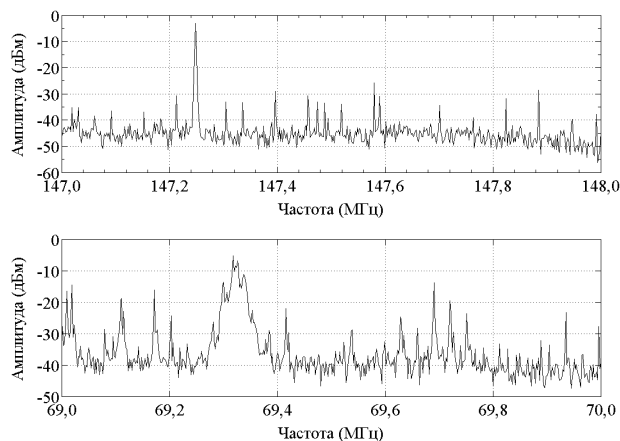


Рисунок 2 – Спектры принятых радиосигналов

При повышении частоты дискретизации ощутимо увеличивается температура ТВ-тюнера, а при достижении значений 2,4-2,5 млн сэмплов в секунду начинается пропуск сэмплов. Стабильная работа АЦП обеспечивается при частоте дискретизации $F=2,4$ млн сэмплов в секунду, что соответствует ширине полосы обрабатываемого радиосигнала $\Delta f=1,2$ МГц.

Полный частотный диапазон радиомодуля ТВ-тюнера согласно таблице составляет

$$\Delta F = 1766 \text{ МГц} - 24 \text{ МГц} = 1742 \text{ МГц}.$$

Таким образом, для обозрения всей этой полосы частот потребуется число операций

$$N_O = \frac{\Delta F}{\Delta f} = \frac{1742 \text{ МГц}}{1,2 \text{ МГц}} \approx 1452.$$

Каждая операция состоит из двух стадий: переключение на нужную частоту и захват требуемого количества сэмплов. Время переключения с одной частоты на другую $t_{\Pi} \approx 55 \text{ мс}$. Время, требуемое для захвата сэмплов для выполнения одной операции при 1024-точечном БПФ:

$$t_C = \frac{P}{F} = \frac{1024}{2,4 \text{ МГц}} \approx 427 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

Общее минимальное время, требуемое для получения полного частотного спектра:

$$T = N_O \cdot (t_{\Pi} + t_C) \approx 80 \text{ с}.$$

Поскольку $t_C \ll t_{\Pi}$, а вычислительная сложность БПФ в зависимости от числа точек P определяется выражением $O(P) = P \cdot \log(P)$, можно без существенных временных потерь увеличить P и/или выполнить несколько последовательных БПФ для каждой базовой частоты радиомодуля, тем самым улучшая помехозащищенность и повышая точность результатов.

Выводы. В результате исследования возможностей ТВ-тюнера на чипе RTL2832U удалось менее чем за полторы минуты получить спектрограмму диапазона частот 24-1766 МГц, что перекрывает наиболее вероятные частоты, используемые доступными рядовому злоумышленнику закладочными устройствами. Скорость сканирования частот в основном ограничивается временем переключения радиомодуля на нужную частоту, но при подключении нескольких ТВ-тюнеров к компьютеру ее можно пропорционально повысить.

Программную компоненту ПОР с графическим интерфейсом пользователя для ОС семейств Windows и Linux, предназначенную для управления ТВ-тюнером на чипе RTL2832U, предполагается достаточно эффективно реализовать с помощью свободно распространяемого программного комплекса с открытым исходным кодом GnuRadio версии 3.7 и выше, позволяющим собрать из визуальных блоков программу, получить ее полный исходный текст, а затем провести компиляцию с оптимизациями под заданную ОС и аппаратную платформу.

Библиотека FFTW [7], реализующая БПФ и используемая в MatLab и GnuRadio, начиная с версии 3.3.1, поддерживает работу на процессорах ARM с набором инструкций NEON для ус-

корения векторных операций, что открывает возможности для запуска программной части ПОР на смартфонах и планшетах и реализации тем самым мобильной компактной системы радиомониторинга с автономным питанием.

Библиографический список

1. Панченко А.А. Мониторинг эффективности работы средств защиты информации от утечки по каналам ПЭМИН // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации: Материалы XVIII научно-технической конференции 29 июня - 02 июля 2009 года. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. с. 33
2. Панченко А.А., Аникиенко М.В., Пржегорлинский В.Н. Анализ подходов к построению системы защиты информации на базе модели процесса обра-

ботки данных // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2005. № 16. С. 120-123.

3. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. М.: Горячая линия-Телеком, 2013. 372 с.

4. Stephen Cass. A \$40 Software-Defined Radio. A repurposed TV tuner can reveal a wide swath of spectrum. <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/a-40-softwaredefined-radio>.

5. Steve Markgraf, Dimitri Stolnikov. RtlSdr. <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>.

6. Michael Schwall, Sebastian Koslowski. Simulink-RTL-SDR: A Simulink interface for rtl-sdr. http://www.cel.kit.edu/simulink_rtl_sdr.php.

7. Matteo Frigo, Steven G. Johnson. FFTW. <http://www.fftw.org>.

УДК 004.4

Е.В. Никульчев, Е.В. Плужник, О.И. Лукьянчиков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ДАННЫХ В ГИБРИДНОЙ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Предлагаются принципы проектирования и миграции информационных систем, работающих с большими объемами обрабатываемых данных, требующих значительных вычислительных ресурсов, в гибридную облачную инфраструктуру. Приведены основные положения разработки, основанные на экспериментальном исследовании.

Ключевые слова: облачные технологии, распределенные информационные системы, управление запросами, BigData, cloud database.

Введение. В настоящее время распространяются облачные сервисы в разных своих проявлениях: от возможности разместить «в облаке» фотографии с мобильного устройства до аренды данных в корпоративных системах. В связи с тем, что облачные технологии появились сравнительно недавно (не более 7 лет), терминология облачных вычислений не стандартизирована, хотя, надо отметить, специальная комиссия по этому вопросу создана в ISO. И под облачными технологиями сейчас, формально, можно понимать и аренду сервера в соседнем подвале, что по своей сути противоречит развиваемой идеологии облачных вычислений.

Будем понимать под облачными технологиями масштабируемые по ресурсам распределенные вычислительные системы. В зависимости от инфраструктуры разделяют: публичное облако (все части системы находятся на внешних серверах, и доступ осуществляется, как правило, через веб-интерфейсы); приватное облако (система установлена на локальных серверах с использованием технологий виртуализации, дос-

туп осуществляется через локальную сеть); гибридное облако (часть системы находится в публичном облаке, часть – в приватном, доступ возможен через устройства со специальным программным обеспечением или через локальную сеть).

Цель работы – выявление особенностей функционирования информационных систем в гибридной облачной инфраструктуре и разработка принципов проектирования распределенных баз данных.

Теоретическая часть. Основные проблемы, решаемые в ходе академических исследований, – вопросы безопасности, вопросы эффективного использования ресурсов, вопросы управления данными. Первые вполне могут быть решены переносом только части данных и кода в публичное облако, т. е. гибридной инфраструктурой. Решению остальных посвящено огромное количество исследований в последние два-три года в мировых научных журналах.

Пусть имеется гибридная облачная инфраструктура. Публичная серверная часть масшта-

бируема по объему данных и вычислительным ресурсам (память, количество процессоров), приватная – содержит часть данных (возможно, базу шифраторов и дешифраторов), программу обработки запросов и коммутации с публичным облаком. Особенностью задачи является необходимость учета каналов связи, задействованных в функционировании системы. Задача состоит в разработке принципов проектирования и миграции приложений, связанных с обработкой больших объемов данных (BigData), в гибридную облачную инфраструктуру.

Экспериментальная часть. Было проведено два вида экспериментов. Первый – аренда общедоступного облачного сервиса в восточной Европе [1], второй – собран экспериментальный стенд, имитирующий гибридную облачную инфраструктуру [2] (рисунок 1).

В экспериментальном стенде группа вычислительных мощностей представляет собой набор серверов различных производителей, с разным количеством процессорных ядер, размером оперативной памяти и системами хранения.

Виртуализация реализуется средой VMware ESXi, установленная с использованием флэш-памяти. Настроен виртуальный коммутатор Cisco Nexus 1000 и развернуты 4 виртуальные машины на физических дисках сервера.

Для организации облака используется семейство продуктов VMware vCloud, позволяющее организовывать облачные вычисления на всех уровнях. Для создания облака в экспериментальном стенде на двух серверах SunFire созданы хосты VMware ESXi, установлена система управления vCenter, установлено приложение VMware vCloud Director.

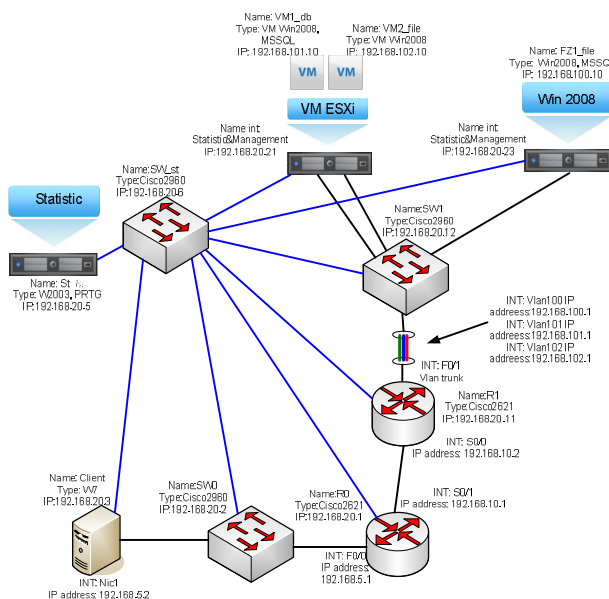


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд, имитирующий облачную инфраструктуру

Наличие более 15 физических коммутаторов Cisco 29 серии и маршрутизаторов 26 и 28 серии, а также виртуальных коммутаторов Nexus, функционала сетевого оборудования, использование протоколов динамической маршрутизации, технологий Vlan, trunk, Qos и прочих позволяет реализовать различные схемы сети.

Для имитации различных уровней пропускной способности каналов используется более 15 физических коммутаторов Cisco 29 серии и маршрутизаторов 26 и 28 серии, а также виртуальные коммутаторы Nexus, функционал сетевого оборудования, протоколы динамической маршрутизации, технологии Vlan trunk и QoS. Схема подключения сервера виртуальных машин показана на рисунке 2.

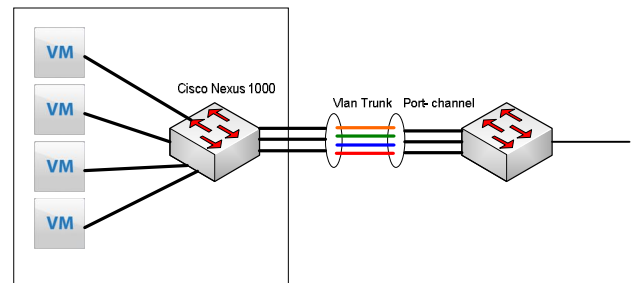


Рисунок 2 – Конфигурация подключения виртуальных машин

Разработка основных принципов проектирования. Структура информационной системы в гибридной облачной инфраструктуре имеет следующий общий вид. Имеется база данных с большим количеством записей, включающая слабоструктурированные XML-данные. Основной объем данных хранится в публичном облаке. Часть данных, связанных с конфиденциальной или личной информацией, хранится в частном облаке. Информационная система состоит из веб-интерфейса с реализованными многопользовательскими запросами к данным.

Проведен ряд тестовых экспериментальных исследований [1–4], который позволил сформулировать следующие основные принципы создания распределенных информационных систем.

1. Введение принципов динамического управления с обратных связей.
2. Использование специальных технологий разработки БД.
3. Необходимость оценки вычислительных затрат.

Изложим эти положения.

Динамическое управление. Возможны следующие случаи. Количество запросов от разных пользователей могут загрузить выделенные под задачу ресурсы. Для оперативного расширения вычислительных мощностей предложено ввести

обратные связи о состоянии выполнении текущего запроса. В этом случае для формирования потока сложных запросов можно построить динамические модели в форме системы конечно-разностных уравнений. Это дает возможность по моделям оценить структурную устойчивость в исследуемом режиме функционирования.

Вообще, введение обратных связей, с одной стороны, позволяет вносить корректирующие воздействия, с другой – занимает часть вычислительных ресурсов и каналы связи, поэтому необходимо решение задачи оптимального управления, где критерием может выступать минимизация времени обработки запросов или ограничение ресурсов (в облачных технологиях объем максимальных мощностей определяет стоимость сервиса). Заметим, что идея обратных связей в вычислительных системах была проработана [5], в частности, в облачных технологиях предложены разные способы построения системы динамических уравнений [6, 7].

Использование специальных технологий разработки БД. Распределенность данных усложняет разработку программных средств, делает затруднительным и трудоемким использование распространенных технологий программирования. Несмотря на развитие технологий, таких как .Net и Qt, разработчикам приходится в конечном счете оперировать запросами SQL и явно прописывать доступ к распределенным данным. В условиях широкого распространения объектно-ориентированной методологии разработки прикладных систем и одновременного доминирующего положения на рынке реляционных СУБД привлекательным решением оказывается использование промежуточного слоя программного обеспечения, предоставляющего необходимые объектно-ориентированные интерфейсы к данным, хранимым под управлением реляционной СУБД. Для связи реляционных данных с объектами, с помощью которых разрабатывались программные средства, применяется технология программирования объектного реляционного отображения (ORM). Суть данной технологии программирования заключается в соответствии сущности реляционной БД объекту, то есть каждому полю таблицы БД ставится в соответствие атрибут класса объекта. Пример этого отражения для сущности «студент» показан на рисунке 3.

В этом примере поля таблицы «Students» («id_student» – идентификатор студента; «surname» – фамилия студента; «name» – имя студента; «birthday» – дата рождения студента; «avg_score» – средний балл студента) отобража-

ются в соответствующие атрибуты класса «Student». После данного отражения программист, используя объект, не задумывается о том, как хранятся данные, для этой цели определены соответствующие методы класса, которые выполняют выборку, вставку, изменение или удаление объекта.

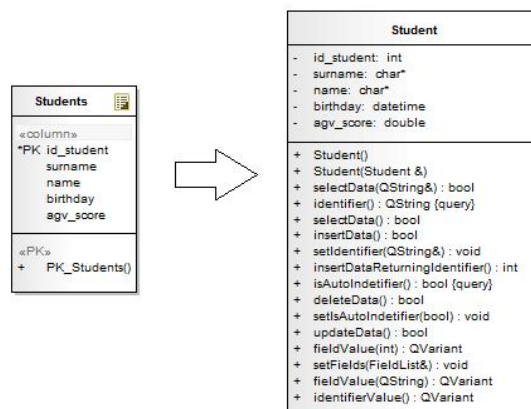


Рисунок 3 – Пример объектно-реляционного отображения

Предлагается для проектирования информационных систем использовать акторное проектирование, где под актором понимается процесс, способный «общаться» с подобными и выполняющий функции, которые востребованы другими процессами. При проектировании определяют акторы для решения каждой конкретной задачи, не выделяя иерархические уровни. Для каждого актора-программы задается, какие команды получают на вход и какие команды они отправляют. Акторные модели программирования введены в [8], где и определены основные свойства акторов: создавать новые акторы; посылать свои сообщения; устанавливать, как следует реагировать на последующие сообщения.

При проектировании программных средств используем язык UML, включающий в себя ряд диаграмм (рисунок 4). Заметим, что акторный подход позволяет реализовать обратные связи.

3. Оценка вычислительных ресурсов. При проектировании сложных распределенных систем эти вопросы требуют специальной проработки. Одним из базовых принципов предлагается включить в разработку информационных систем этапа оценки включающее моделирование и экспериментальное исследование прототипа системы в критических режимах (при загрузке каналов связи, потоками запросов, при загрузке вычислительных ресурсов). Известно много случаев, когда системы федерального уровня после введения в эксплуатацию просто не функционировали из-за отсутствия экспериментальной теоретической проработки вопросов BigData.

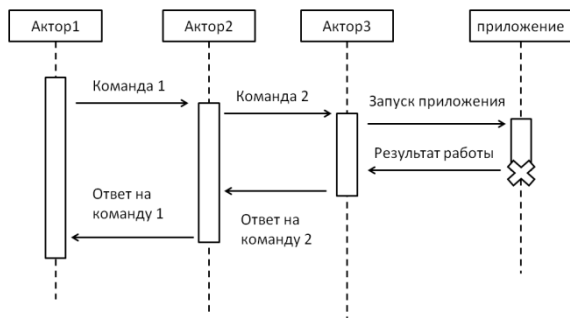


Рисунок 4 – UML и акторное проектирование

Заключение. В работе сформулированы основные принципы проектирования гибридных облачных систем в условиях обработки больших данных. Предложен вид стенда для экспериментального исследования, и определен набор технологий для проектирования. Технологии могут быть использованы при миграции существующих систем в облако.

Библиографический список

1. Pluzhnik E., Nikulchev E. Virtual laboratories in cloud infrastructure of educational institutions // 2nd International Conference on Emission Electronics (ICEE) Selected papers. – IEEE; 2014. – P. 67-69.
2. Плужник Е.В., Никольчев Е.В., Паяин С.В. Лабораторный экспериментальный стенд облачных и

сетевых технологий // Cloud of Science. – 2014. – Т. 1. – № 1. – С. 78-87.

3. Pluzhnik E., Nikulchev E., Payain S. Concept of Feedback in Future Computing Models to Cloud Systems // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 32. – N. 7. – P. 1394–1399.

4. Pluzhnik E., Nikulchev E., Payain S. Optimal control of applications for hybrid cloud services // Proc. 2014 IEEE 10th World Congress on Services (SERVICES 2014). Anchorage, USA. – IEEE, 2014. – P. 458–461.

5. Hellerstein J. L. Challenges in Control Engineering of Computing Systems. IBM Research Report. RC23159 (W0309-091). — NY: Thomas J. Watson Research Center, 2003.

6. Lemmon M. D. Towards a passivity framework for power control and response time management in cloud computing // Proceedings of 7th International Workshop on Feedback Computing, 2012.

7. Diao Y., Gandhi N. et al. Using MIMO feedback control to enforce policies for interrelated metrics with application to the Apache web server // Proc. IEEE 2002 Network Operations and Management Symposium. — IEEE, 2002. – P: 219–234.

8. Hewitt C. Viewing control structures as patterns of passing messages // Artificial intelligence. – 1977. – Vol. 8. – N. 3. – С. 323–364.

УДК 621.396:669.8

В.Ф. Осинин, В.Н. Малыш, С.Н. Тарасов

О ПРЕДСТАВЛЕНИИ АМПЛИТУДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫБРОСОВ ОГИБАЮЩЕЙ АТМОСФЕРНОГО ОНЧ-РАДИОШУМА МОДЕЛЬЮ ХОЛЛА

Приведены теоретические и экспериментальные данные амплитудного распределения средней длительности выбросов огибающей атмосферного ОНЧ-радиошума. В качестве теоретической модели была использованная модель Холла. Даны рекомендации по применению данной модели.

Ключевые слова: ОНЧ-радиошум, функция распределения, средняя длительность, модель Холла.

Введение. Проблема защиты информации, передаваемой по радиоканалам в ОНЧ-диапазоне (3 – 30 кГц), от воздействия неустрашимых импульсных естественных радиошумов, создаваемых грозвыми разрядами, является весьма актуальной в настоящее время.

Для ее решения необходимо исследовать и аналитически описать функцию распределения огибающей атмосферного ОНЧ-радиошума на выходе узкополосного приемного устройства.

В настоящее время для описания статистических свойств атмосферных радиопомех извест-

тен целый ряд моделей [1 – 7], среди которых представляет значительный интерес модель Холла [7].

Эта модель получена автором при решении обратной задачи, когда её параметры находятся по экспериментальным данным и, в частности, через среднее и среднеквадратическое напряжение огибающей узкополосного атмосферного радиошума.

В работе [3] показано, что модель Холла может быть приемлема для описания дополнительной функции распределения $P(E > E_0)$ и

среднего числа выбросов $N(E > E_0)$ только для ОНЧ диапазона длин волн (3 – 30 кГц). На более высоких частотах существуют значительные расхождения между теорией и экспериментом.

Для практических целей при расчетах помехоустойчивых ОНЧ-радиолиний и выборе помехоустойчивых кодов требуется знание аналитических выражений для представления средней длительности выбросов огибающей атмосферного ОНЧ-радишума. Для решения этой проблемы до некоторой степени может быть использована модель Холла [7].

Цель работы — исследовать модель Холла для получения данных амплитудного распределения средней длительности выбросов огибающей атмосферного ОНЧ-радишума. Сопоставить модель с экспериментальными данными.

Теоретическая часть. В модели Холла предполагается, что принятый атмосферный радиосигнал в текущие моменты времени модулируется одновременно несколькими молниевыми разрядами, интенсивность, число и расстояние до которых являются переменными величинами. Поэтому модель такого шума выбрана как узкополосный гауссовский процесс, умноженный на весовой фактор, изменяющийся со временем, согласно разрядам источников, модулирующих этот шум, т.е.

$$U(t) = a(t) \cdot U_{ш}(t), \quad (1)$$

где $U_{ш}(t)$ – узкополосный гауссовский процесс с нулевым средним и корреляционной функцией $R_{U_{ш}}(t)$;

$a(t)$ – регулярный стационарный случайный процесс, статистически независимый от $U_{ш}(t)$.

При этом предполагается, что $a(t)$ – медленно меняющийся случайный процесс по сравнению с узкополосным шумом $U_{ш}(t)$ [5].

Для модели Холла формула автоматического расчета средней длительности выбросов огибающей поля атмосферного ОНЧ-радишума найдется через отношение дополнительной интегральной функции распределения вероятностей $P(E > E_0)$, представляющей собой время превышения (занятия) выбросами порога E_0 , к средней длительности выбросов $N(E > E_0)$ на этом же пороговом уровне E_0 , измеренных одновременно за один и тот же промежуток времени, в течение которого атмосферный ОНЧ-радиосигнал стационарен.

Согласно [7], функции $P(E > E_0)$ и $N(E > E_0)$ имеют вид

$$P(E > E_0) = \frac{\gamma^{\theta-1}}{(E_0^2 + \gamma^0)^{\frac{\theta-1}{2}}}. \quad (2)$$

$$N(E > E_0) = \frac{\Gamma\left(\frac{\theta+2}{2}\right) * 8 * \sqrt{\pi} * \gamma^{\theta-1} * B_c}{\Gamma\left(\frac{\theta-1}{2}\right) * \theta} * \frac{E_0}{[E_0^2 + \gamma^0]^{\frac{\theta}{2}}}. \quad (3)$$

Поделив (2) на (3), получим формулу для расчета средней длительности выбросов напряжения огибающей E атмосферного ОНЧ-радишума, превышающих порог E_0 :

$$\frac{P(E > E_0)}{N(E > E_0)} = \frac{\Gamma\left(\frac{\theta-1}{2}\right) * \theta * [E_0^2 + \gamma^0]^{\frac{\theta}{2}}}{\Gamma\left(\frac{\theta+2}{2}\right) * 8 * \sqrt{\pi} * B_c * E_0}. \quad (4)$$

В формулах (2) – (4):

$\Gamma(n)$ – гамма-функция;

B_c – эффективная полоса пропускания приемной системы;

E_0 – порог превышения (срабатывания);

γ, θ – параметры, определяемые из выражений

$$\gamma_{|\theta=3} = \frac{2 * E_{cp}}{\pi}, \quad (5)$$

$$\gamma_{|\theta=4 \text{ через } E_{cp}} = E_{cp}, \quad (6)$$

$$\gamma_{|\theta=4 \text{ через } E_{cp.кв.}} = \frac{E_{cp.кв.}}{\sqrt{2}}, \quad (7)$$

где $E_{cp}, E_{cp.кв.}$ – соответственно среднее и среднеквадратическое значения огибающей E , найденные через экспериментально полученную функцию $P(E > E_0)$, следующим образом:

$$E_{cp} = \int_0^{\infty} E * W(E) dE = \int_0^{\infty} P(E > E_0) dE, \quad (8)$$

$$E_{cp.кв.} = \sqrt{\int_0^{\infty} E^2 * W(E) dE} = \sqrt{2} * \sqrt{\int_0^{\infty} P(E > E_0) * E dE}. \quad (9)$$

Плотность вероятности $W(E)$ в (8), (9) равна:

$$W(E) = -\frac{dP(E > E_0)}{dE}. \quad (10)$$

Экспериментальные исследования. Следует отметить, что при экспериментальных ис-

следованиях статистических свойств атмосферных шумов измерить интегральную функцию (ИФ) напрямую затруднительно, поэтому для ее вычисления используют дополнительную интегральную функцию (ДИФ) $P(E > E_0)$, связанную с ИФ соотношением:

$$P(E < E_0) = 1 - P(E > E_0). \quad (11)$$

Авторами настоящего сообщения при экспериментальных исследованиях ДИФ использовался уникальный информационно-измерительный комплекс, представленный на рисунке 1 [6].

Если переключающее реле находится в положении I, то ко входу антенного усилителя с полосой пропускания 3 – 30 кГц подключается штыревая электрическая антенна, при положении II – реле подключает через эквивалент антенны на вход антенного усилителя калибровочный генератор нормального шума.

Использование генератора нормального шума позволяет, с одной стороны, пересчитать пороговые селективные уровни статистического анализатора в единицы эффективного выходного напряжения генератора и тем самым перейти к абсолютным значениям измеренной напряженности вертикальной составляющей электрической компоненты электромагнитного поля атмосферного радишума, а с другой – осуществить проверку показаний статистического анализатора в режиме измерений ДИФ. Это осуществляется автоматически по следующему алгоритму действий [6].



Рисунок 1 – Блок-схема аппаратного комплекса для исследования статистических свойств узкополосных случайных процессов [6]

Для расчета функции распределения средней длительности атмосферного ОНЧ-радишума по модели Холла был создан и реализован компьютерный алгоритм, результатом которого являлись числовые и графические данные. Алгоритм работы программы представлен на рисунке 2, результаты работы представлены на рисунке 3.

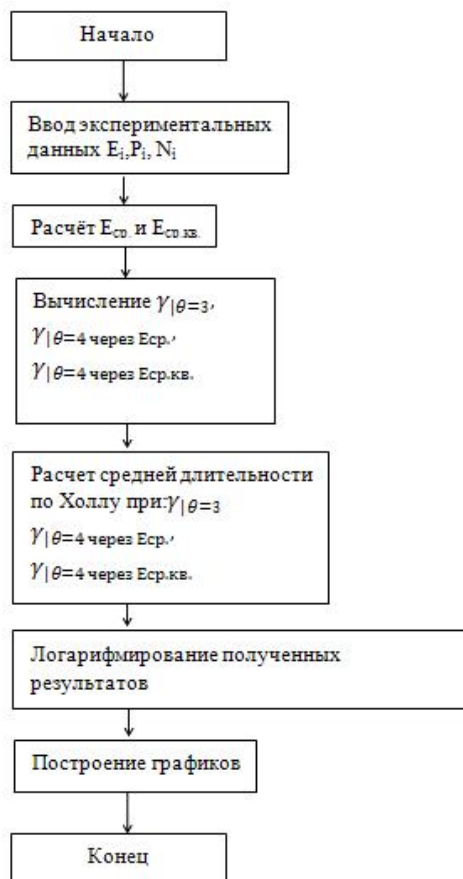


Рисунок 2 — Алгоритм расчета средней длительности выбросов огибающей атмосферного ОНЧ-радишума моделью Холла

На рисунке 3 показаны функции распределения средней длительности выбросов огибающей атмосферного ОНЧ-радишума моделью Холла (при $\gamma_{|\theta=3}$, $\gamma_{|\theta=4}$ через *Еср.*, $\gamma_{|\theta=4}$ через *Еср.кв.*) и данные эксперимента. Измерения проводились в октябре 2012 г. на частоте 8 кГц при полосе 200 Гц в г. Липецке в утреннее время (8 часов 30 мин) при времени наблюдения 600 с.

Как видно из рисунка 3, модель Холла наиболее удачно аппроксимирует эксперимент в области гладкой компоненты, т.е. в области $[-40 - 0$ дБ], при $\gamma_{|\theta=4}$ через *Еср.*, $\gamma_{|\theta=4}$ через *Еср.кв.*. В области импульсной компоненты $[0 - 30$ дБ] теория расходится с практикой.

Заключение. В статье рассмотрена применимость модели Холла для определения средней длительности выбросов огибающей ОНЧ-радишума. Модель Холла применима на практике, если использовать (4) через (7). При этом необходимо учитывать, что функция работает не во всем диапазоне, а только в области гладкой компоненты.

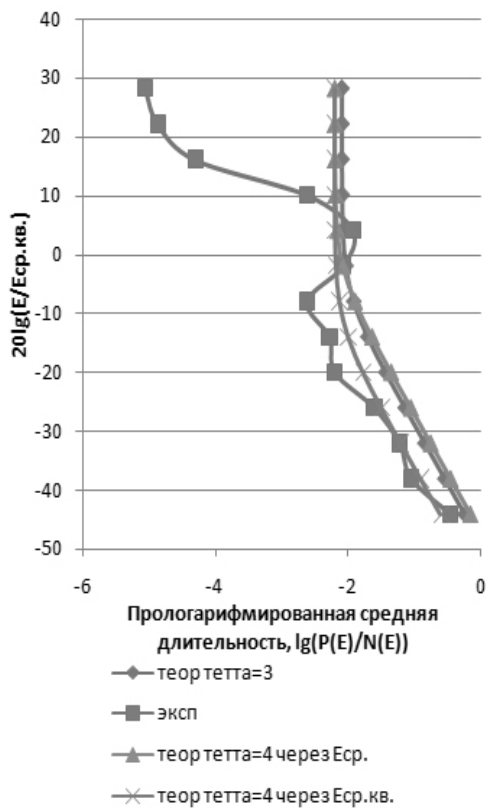


Рисунок 3 — Амплитудное распределение средней длительности выбросов огибающей атмосферного ОНЧ-радишума моделью Холла

Библиографический список

1. Осинин В.Ф., Малыш В.Н., Феоктистов А.В., Цаплин О.В. Логарифмически-нормальная модель атмосферного шума и возможность ее использования для оценки качества функционирования цифровых радиосистем // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста. Межвузовский сборник. – Липецк: ГОУ ВПО «ЛГПУ», 2010.– Вып. 13. – С. 221-226.
2. Осинин В.Ф., Малыш В.Н., Подлесных Д.А., Цаплин О.В. Параметрически-степенная модель атмосферного радишума // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста.– Липецк: ФГБОУ ВПО «ЛГПУ», 2010. – Вып. 14.– С. 163-167.
3. Осинин В.Ф., Малыш В.Н., Тарасов С.Н., Цаплин О.В., Феоктистов А.В. О возможности представления статистических свойств атмосферного ОНЧ-радишума моделью Холла // Актуальные проблемы естественных наук и их преподавания: материалы областной научно-практической конференции. – Липецк: ЛГПУ, 2013. – С. 135-141.
4. Осинин В.Ф., Осинин И.В., Подлесных Д.А., Шарпов С.И., Васильева Т.И. Обобщающая эмпирическая модель и возможности ее использования // Школа молодых ученых по техническим наукам.– Липецк: ЛГТУ, 2009.– С. 74-79.
5. Осинин В.Ф., Малыш В.Н., Тарасов С.Н. Математическое моделирование расчета функции распределения атмосферного ОНЧ-радишума обобщенной t-моделью // Актуальные проблемы естественных наук и их преподавания: материалы областной научно-практической конференции. – Липецк: ЛГПУ, 2014. – С. 174-178.
6. Осинин В.Ф., Малыш В.Н., Цаплин О.В., Тарасов С.Н. Аналитическая модель основной и дополнительной функций распределения атмосферного ОНЧ-радишума и методика их определения // XIX Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» 16-18 апреля 2013 г. – Воронеж: НПФ «САКВОЕЕ» ООО, 2013. – С. 2002-2009.
7. Hall H.N. A new models for “impulsive” phenomena: Application to atmospheric noise communication channels //Tech. Rep. №3412-8 and 7050. — Stanford (Cal.), 1966. — P. 164.