

## О РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ КОМПОЗИТНОГО ПОМЕХОВО-ШУМОВОГО СИГНАЛА ДЛЯ СИСТЕМЫ КОГНИТИВНОГО РАДИО

Н.М. Рябков, Н.С. Береснев, А.Н. Голубинский

АО «Концерн «Созвездие», г. Воронеж, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос разработки математической модели композитного помехово-шумового сигнала, включающего в себя шум и помехи с различными видами модуляции с различными видами модуляции, а также особенности реализации данной модели в среде Python.

**Ключевые слова:** когнитивное радио, шум, помеха, композитный сигнал, интеллектуальная классификация, оценка параметров шумов и помех.

## ABOUT A DEVELOPMENT OF MODEL OF THE COMPOSITE INTERFERENCE-NOISE SIGNAL FOR COGNITIVE RADIO SYSTEM

N.M. Ryabkov, N.S. Beresnev, A.N. Golubinskiy

JSC «Concern «Sozvezdie», Voronezh, Russian Federation

**Abstract.** The issue of developing a model of a composite interference-noise signal, which includes noise and interference with various types of modulation, as well as the implementation features of this model in the Python environment, is considered.

**Keywords:** cognitive radio, noise, interference, composite signal, intelligent classification, estimation of noise and interference parameters.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие беспроводных систем связи в настоящее время обусловлено постепенным переходом от наращивания аппаратных возможностей средств связи к рациональному использованию имеющегося частотного ресурса. В частности, такой подход используется в технологии когнитивного радио.

В соответствии с определением Международного союза электросвязи [1] система когнитивного радио (CRS) – это радиосистема, использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии, динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов. Таким образом, суть данной технологии сводится к получению информации и дальнейшему её использованию для корректировки параметров радиосистемы [2 – 4].

Данные системы могут производить оценку параметров среды и формировать решение по корректировке. Реальные условия обеспечения связи характеризуются наличием, помимо полезного (информационного) сигнала, большого количества разнообразных мешающих (паразитных) сигналов, которые отличаются по частоте, полосе, амплитуде и другим параметрам. Одной из перспективных задач может быть интеллектуальная классификация помехово-шумовых сигналов для последующего принятия решения о выборе соответствующего метода защиты или обработки в системах когнитивного радио. Решение такой задачи подразумевает подготовку обучающей выборки для обучения классификатора. Как правило, для этого используются реальные (эмпирические) или искусственные (синтетические) данные.

Рассмотрим вопрос формирования синтетических данных в виде смеси полезного сигнала и разного рода мешающих помехово-шумовых сигналов, которая в дальнейшем может быть использована в интеллектуальной когнитивной системе связи для идентификации и классификации таких помехово-шумовых сигналов с целью выбора наиболее эффективного метода их подавления.

Цель работы – разработка модели композитного помехово-шумового сигнала, включающего в себя полезный (информационный) сигнал, а также шум и помехи с различными видами модуляции, а также реализация данной модели в среде Python.

## 2. ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

В модели композитного помехово-шумового сигнала рассмотрены следующие виды сигналов (помех):

- полосовой гауссовский шум;
- полосовой лапласовский шум;
- линейно-частотно модулированный (ЛЧМ) сигнал;
- сигнал с модуляцией QAM-64;
- сигнал с модуляцией BPSK;
- сигнал с модуляцией QPSK;
- сигнал с модуляцией GMSK;
- аналоговый частотно-модулированный сигнал;
- импульсная помеха.

При решении поставленной научно-прикладной задачи используются следующие параметры модели:

- частота дискретизации заданная  $f_d = 1,25 \cdot 10^9$ ;
- наименьшая рабочая частота (Гц)  $f_{min} = 30 \cdot 10^6$ ;
- наибольшая рабочая частота (Гц)  $f_{max} = 520 \cdot 10^6$ ;
- время анализа (с)  $T = 60$ ;
- интервал квазистационарности параметров шума (с)  $dT = 0.1$ .

Также в модели приняты следующие допущения:

Изменения центральной частоты и полосы частот заданы равномерным распределением (количество отсчетов  $= T / dT = 600$ ). График изменения значений центральной частоты приведен на рис. 1. График изменения значений полосы частот приведен на рис. 2.

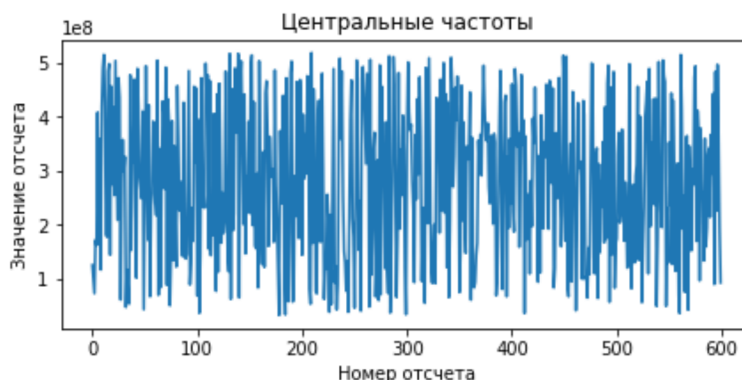


Рис.1. График изменения значений центральной частоты

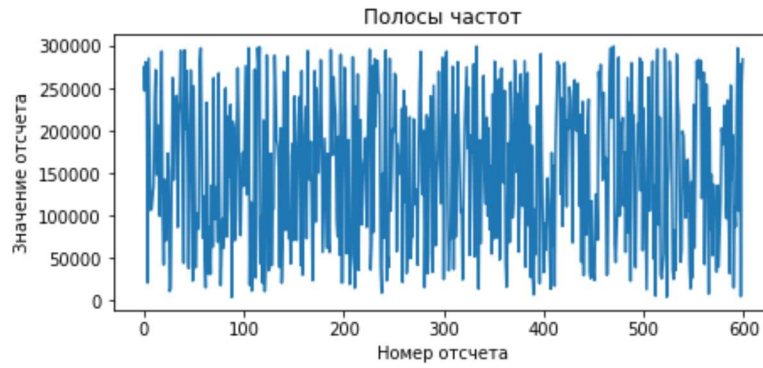


Рис.2. График изменения полос частот

Изменение полос частот и амплитуд шума приведено на рис. 3.



Рис.3. График изменения полос частот

Графики спектра полученных сигналов приведены на рис. 4.

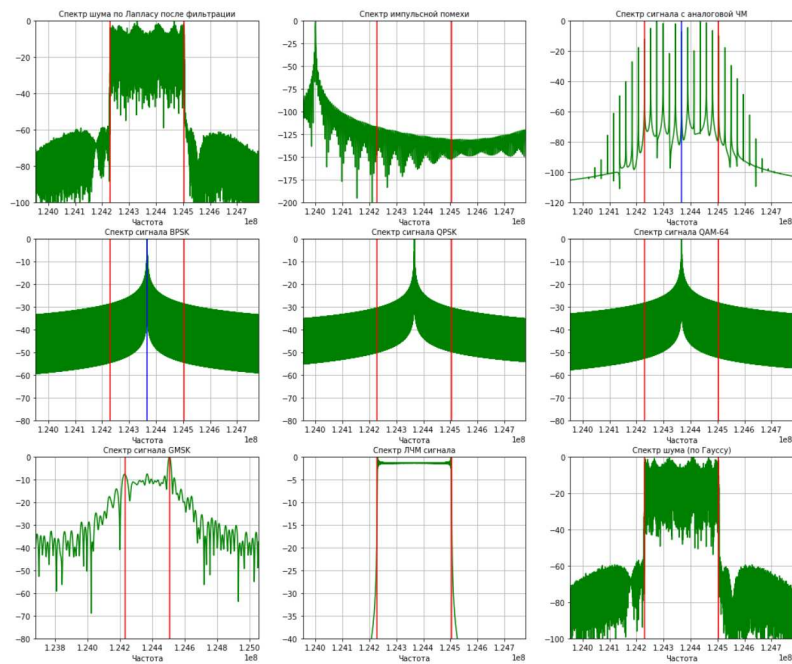


Рис. 4. Графики спектра полученных сигналов

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

График спектра композитного помехово-шумового сигнала представлен на рис. 5.

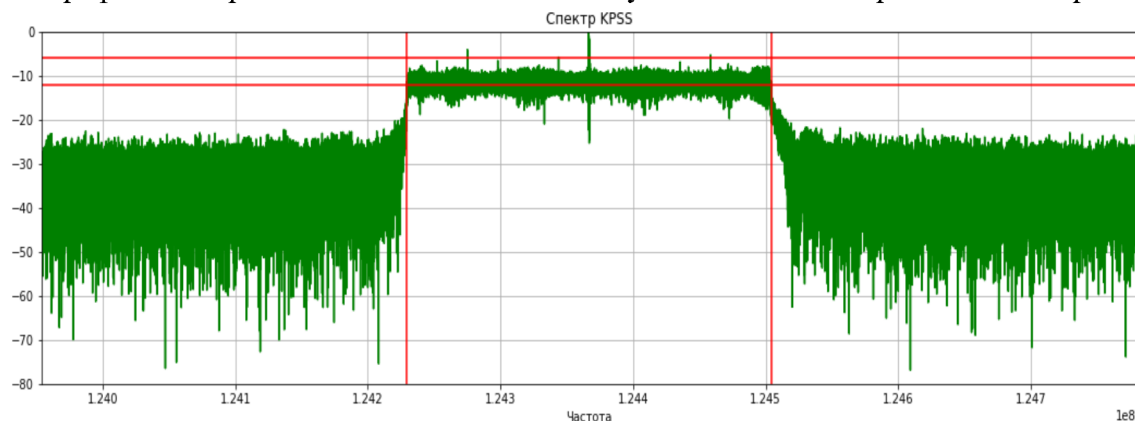


Рис. 5. График спектра композитного помехово-шумового сигнала

График, приведенный на рис.5, получен в результате суммирования приведенных выше сигналов и их нормировки соответствующими коэффициентами, а также выполнения дискретного преобразования Фурье на основе алгоритма Быстрого преобразования Фурье. Как видно из графика, в полученном спектре можно идентифицировать практически все используемые составляющие. Наибольшее влияние на вид полученного сигнала оказывает шум (с распределениями по Лапласу и по Гауссу). Также на уровне шума можно точно идентифицировать на уровне приблизительно -6 Дб наличие сигналов с модуляцией QAM-64, BPSK, QPSK. Таким образом, можно заключить, что полученный композитный помехово-шумовой сигнал может быть использован для реализации классификатора помех.

Выводы:

Реализованная в среде Python модель композитного помехово-шумового сигнала, включающего в себя полезный (информационный) сигнал, а также шум и помехи с различными видами модуляции, позволяет получить синтетическую выборку для дальнейшей реализации механизмов адаптации когнитивной системы связи на основе классификатора помех.

Одним из перспективных примеров такой реализации может служить использование выборки для обучения нейросетевого классификатора помех когнитивной системы связи на основе технологий искусственного интеллекта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет (Сектора связи Международного союза электросвязи) МСЭ-R SM.2152 (09/2009) «Определения системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SDR) и системы когнитивного радио (CRS)» («Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)»).
2. Alijani, Morteza & Osman, Anas. Performance Improvement of Energy Detection in Cognitive Radio Under Noise Uncertainty, 2020.
3. Usman, Mustefa & Singh, Ram & Rajkumar, S. Stage Spectrum Sensing Technique for Cognitive Radio Network Using Energy and Entropy Detection. Wireless Power Transfer, 2022.
4. Adhikari, Rammani & Ali, Mazhar. Performance Comparison of Energy Detection Based non – Cooperative Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio. Himalayan Journal of Applied Science and Engineering, 2022.

5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов/А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.
6. Микушин А.В. Цифровые устройства и микропроцессоры/ А.В. Микушин, А.М. Сажнев, В.И. Сединин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 832 с.

#### REFERENCES

1. Report (of the Telecommunications Sector) MCЭ-R SM.2152 (09/2009) MCЭ-R SM.2152 (09/2009) («Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)»).
2. Alijani, Morteza & Osman, Anas. Performance Improvement of Energy Detection in Cognitive Radio Under Noise Uncertainty, 2020.
3. Usman, Mustefa & Singh, Ram & Rajkumar, S. Stage Spectrum Sensing Technique for Cognitive Radio Network Using Energy and Entropy Detection. Wireless Power Transfer, 2022.
4. Adhikari, Rammani & Ali, Mazhar. Performance Comparison of Energy Detection Based non – Cooperative Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio. Himalayan Journal of Applied Science and Engineering, 2022.
5. Sergiyenko A.B. Tsifrovaya obrabotka signalov/A.B. Sergiyenko – SPb.: Piter, 2003. – 604 p.
6. Mikushin A.V. Tsifrovyye ustroystva i mikroprotsessory/ A.V. Mikushin, A.M. Sazhnev, V.I. Sedinin. – SPb.: BKHV-Peterburg, 2010. – 832 p.