

К ВОПРОСУ О НЕЙРОСЕТЕВОМ ПРЕДИКТОРЕ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ СИСТЕМЫ КОГНИТИВНОГО РАДИО НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ

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

АО «Концерн «Созвездие», Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрен вопрос разработки математической модели предиктора для цифровой модели помеховой обстановки системы когнитивного радио, а также особенности реализации в среде Python.

Ключевые слова: когнитивное радио, шум, помеха, предсказание, предиктор, интеллектуальная классификация.

TO THE QUESTION OF NEURAL NETWORK PREDICTION COGNITIVE RADIO SYSTEM WORKING FREQUENCY BASED ON DIGITAL MODEL OF INTERFERENCE SITUATION

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

JSC «Concern «Sozvezdie», Voronezh, Russian Federation

Abstract. The issue of development a mathematical model of a predictor for cognitive radio system based on digital model of interference situation is considered. Moreover, the features of realization this model in Python are considered.

Keywords: cognitive radio, noise, interference, prediction, predictor, intellectual classification.

1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие беспроводных систем связи в современном мире 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 способны производить оценку параметров окружающей среды и формировать решение по корректировке рабочих параметров. Реальные условия обеспечения связи характеризуются наличием, помимо полезного (информационного) сигнала, большого количества разнообразных мешающих (помеховых) сигналов, которые отличаются по частоте, полосе, амплитуде и другим параметрам. Одной из перспективных задач может быть интеллектуальная классификация помехово-шумовой обстановки для определения и предсказания свободного частотного участка для передачи информационного сигнала.

В данной работе предложено 3 различных способа классификации помехово-шумовой обстановки и предсказания свободного участка полос частот. Более подробно рассмотрен прямой (алгоритмический) способ с логическими правилами для критериев предсказания о свободном канале связи.

2. ОПИСАНИЕ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ

Для тестирования работы предложенных математических моделей необходим набор данных, которые в полной мере характеризуют окружающую среду (помеховую обстановку). Использование реальных данных, содержащих в себе сведения за весь частотный диапазон $1,5 \div 30$ МГц, на момент проведения исследований оказалось невозможным, поэтому были сформированы синтетические данные со следующими параметрами.

Общие параметры моделирования:

- общая полоса наблюдения (КВ диапазон): $1,5 - 30$ МГц ($F_{\min} = 1,5$ МГц; $F_{\max} = 30$ МГц; $\Delta F = F_{\max} - F_{\min} = 28,5$ МГц);
- наименьшая мощность шума $P_{\text{ш min}} = -80$ дБм;
- наибольшая мощность шума $P_{\text{ш max}} = -30$ дБм;
- ширина полосы шума $[3; 300]$ кГц;
- частота дискретизации $f_d = 2 \cdot F_{\max} = 60$ МГц;
- интервал дискретизации $\Delta = 1/f_d = 16,7$ нс;
- время наблюдения для принятия решения $T = 60$ с;
- интервал времени между формированием спектра сигнала $\Delta T = 1$ с;
- количество отсчетов на интервале квазистационарности $N = \Delta T / \Delta = 6 \cdot 10^7$;
- шаг частотной сетки в БПФ $\Delta f = 1/\Delta T = 1$ Гц;
- ширина полосы для анализа по энергетическому критерию $\Pi_i = \{3, 30, 300\}$ кГц.

На рисунках 1-2 представлены примеры синтетической помеховой обстановки с указанными параметрами за 12 и 1 секунду соответственно.

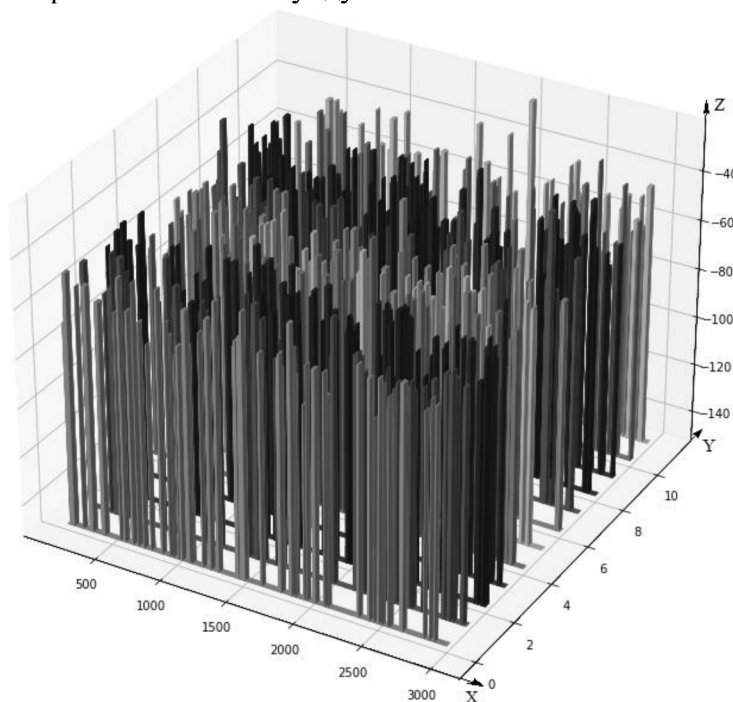


Рис. 1. Помеховая обстановка для отрезка 0-12 секунд

3D-график на рисунке 1 показывает зависимость помеховой обстановки от частоты и ее изменение во времени.

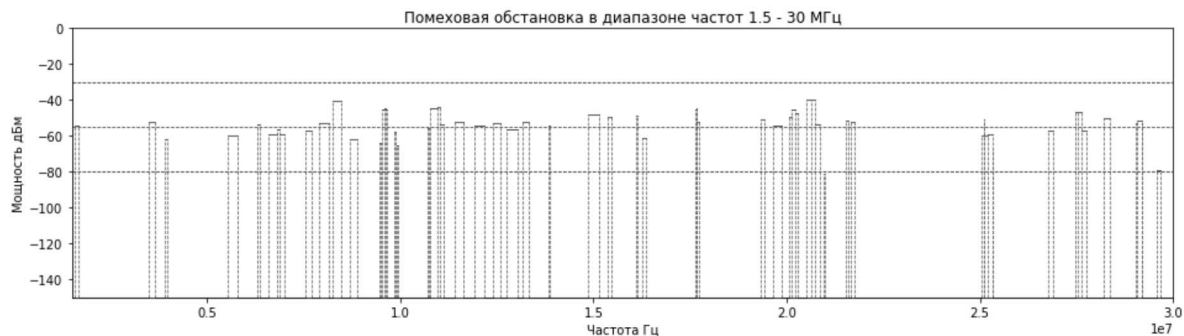


Рис. 2. Помеховая обстановка за одну секунду в диапазоне частот 1,5 – 30 МГц

График на рисунке 2 показывает зависимость помеховой обстановки от частоты в пределах одной секунды наблюдения.

3. ОПИСАНИЕ ПОДХОДОВ

1. Прямой способ с логическими правилами для критериев предсказания о свободных каналах связи представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Структурная схема реализации прямого способа с логическими правилами для критерия предсказания о каналах связи.

Входной сигнал, представленный отсчетами x_k с частотой дискретизации $f_d = 60$ МГц (полоса наблюдения соответствует КВ-диапазону) и интервалом дискретизации $\Delta = 16,7$ нс. Анализируемая ширина полосы частот $\Delta F = 28,5$ МГц.

Интервал времени между формированием спектра сигнала $\Delta T = 1$ с. При анализе за $\Delta T = 1$ с шаг частотной сетки в БПФ $\Delta f = 1$ Гц.

Для проведения анализа спектральной плотности энергии (СПЭ) проведем разбиение всей спектральной характеристики входного сигнала на участки с шириной полосы Π_i (программная реализация на языке Python проводит последовательных анализ для каждой из рассматриваемых полос Π_i).

При принятии решения о свободности участка с шириной полосы Π_i был принят максимальный допустимый уровень мощности шума (пороговое значение) $P_{\text{доп макс}} = -65$ дБм. Исходя из этого, максимально допустимая энергия шума $E_{\text{ш макс}} = P_{\text{доп макс}} \cdot \Delta T$.

Информация о свободности каждого из участков за время наблюдения ($T = 60$ с) хранится в массиве $p_{i, m}(1)$.

$$p_{l,m} = \begin{cases} 1, & \text{если } E_l(m) \leq E_{ш \max}, \\ 0, & \text{если } E_l(m) > E_{ш \max}, \end{cases} \quad (1)$$

где “1” означает, что полоса свободна, “0” – занята, $E_l(m)$ – значение энергии в полосе с номером l за m -тую секунду.

Подсчет вероятности занятости полос частот P_l определяется формулой 2.

$$P_l = \frac{1}{T_a} \sum_{m=1}^{T_a} p_{l,m}, \text{ здесь } T_a = \frac{T}{\Delta T} = 60; p_{l,m} = p_l(m); \quad (2)$$

Предсказание наиболее подходящего канала связи основывается на комбинации краткосрочного и долгосрочного прогнозов, при условии превышения пороговых значений. Краткосрочный прогноз предлагает использовать канал с наименьшей энергией за последний временной промежуток наблюдения при условии, что средняя мощность шума (или энергия) не превышает $E_{ш \max}$. Долгосрочный прогноз предлагает использовать канал с наибольшей вероятностью свободности P_l , при условии превышения минимальной допустимой вероятности свободности $P_{\text{доп min}}$. Таким образом, результатом прогноза являются значения центральной частоты F_p (3) и ширины полосы канала Π_i , равной ширине полосы, выбранной для анализа.

$$F_p = \alpha_k \cdot F_{p_k} + \alpha_d \cdot F_{p_d}, \quad (3)$$

где: α_k и α_d – коэффициенты для краткосрочного и долгосрочного прогноза, соответственно; F_{p_k} и F_{p_d} – прогнозируемые частоты по краткосрочному и долгосрочному прогнозам, соответственно.

$$\alpha_k = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{E_k}{E_d} < \frac{P_k}{P_d}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

где E_k и E_d – энергия по краткосрочному и долгосрочному прогнозам, соответственно; P_k и P_d – вероятность по краткосрочному и долгосрочному прогнозам, соответственно.

$$\alpha_d = 1 - \alpha_k. \quad (5)$$

Таким образом, на основе наблюдения за время $T = 60$ с формируется предсказание рабочей частоты F_p , которое обновляется каждое $\Delta T = 1$ с.

2. Комбинированный способ с использованием искусственной нейронной сети (ИНС) для предсказания о свободных каналах связи приведен на рисунке 4.



Рис. 4. Структурная схема реализации комбинированного способа с использованием ИНС.

Данный метод берет свое начало из первого способа. Предлагается использовать ИНС вместо блоков «Подсчет вероятности занятости полос частот», «Формирования порогового значения для целевой функции», «Формирования целевой функции»,

«Предсказание наиболее подходящего канала связи» первого способа. Это позволяет уменьшить количество необходимых пороговых значений, участвующих при принятии решения.

Рассмотрим второй способ при условии, что вся спектральная характеристика разбивается на участки по 300 кГц. При таком разбиении число участков разбиения $N_f = 95$, а каждому из этих участков в соответствие ставится “0” или “1” согласно формуле 1. Для определения достаточного объема выборки по количественному признаку необходимо произвести следующие вычисления, основанные на применении закона больших чисел и центральной предельной теоремы [5].

Объем генеральной совокупности Ω определяется следующим образом:

$$\Omega = 2^{T \cdot N_f} \cdot N_f \cong 10^{1718}. \quad (6)$$

При этом, стоит отметить, что число качественных признаков соответствует числу участков разбиения N_f , а с учетом пространства возможных значений шкала измерений принимает значения $\{0, 1, \dots, 190\}$ (максимальное значение $x_{\max} = N_f = 95$). В виду равномерности распределения пространства входных значений стандартное отклонение будет равно:

$$\sigma = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad (7)$$

Помимо этого, положим значение доверительной вероятности (вероятность того, что реальное значение измеряемого показателя по всей генеральной совокупности находится в пределах доверительного интервала) равным 99%, из-за чего следует, что значение коэффициента Стьюдента t принимается равным 2,58.

Таким образом, в первом приближении, достаточный объем выборки Num_{select} будет равен:

$$Num_{\text{select}} = \left(\frac{t \cdot \sigma}{\alpha_x} \right)^2 \cong 20 \cdot 10^3. \quad (8)$$

3. Способ с нейросетевым классификатором (Рис. 5)

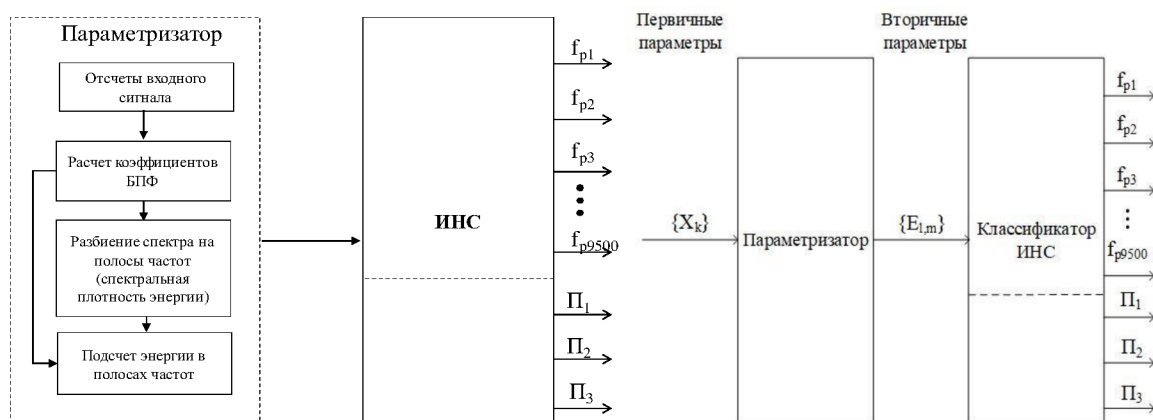


Рис. 5. Структурные схемы способа с нейросетевым классификатором

Данный метод берет свое начало из первого способа и является усложнением второго способа. Предлагается использовать ИНС вместо блоков «Блок принятия решений о занятости полос частот», «Накопление статистики о занятости участков», «Подсчет вероятности занятости полос частот», «Формирования порогового значения для целевой функции», «Формирования целевой функции», «Предсказание наиболее подходящего канала связи» первого способа. Это позволяет исключить все имеющиеся пороговые значения и оставить только алгоритм с расчетом спектральной характеристики и подсчетом энергии в полосе частот. При этом в отличие от второго способа на входе ИНС накопленных значений энергии вместо статистики о занятости участков.

Основная проблема при исследовании возможности использования ИНС для решения данной задачи связана с отсутствием реальных данных для проведения обучения, помимо этого требует обоснования архитектура нейронной сети.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена работающая реализация прямого способа с логическими правилами для критериев предсказания о свободных каналах связи и предложено два различных способа для решения задачи о предсказании о наиболее подходящем канале связи с использованием ИНС.

Целью дальнейших исследований является уточнение имеющихся пороговых значений прямого способа с логическими правилами, а также исследование алгоритмов оценки достаточности выборки для обучения нейронных сетей. Также стоит задача исследования влияния устаревания статистических данных с целью улучшения имеющегося алгоритма.

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. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. Изд. 7-е, стер. – М.: Высш. шк., 1999 – 479 с.

REFERENCES

1. Report (Communication sectors of the International Telecommunication Union) МСЭ-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. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. Ucheb. Posobie dlia vuzov. Izd. 7-e, ster. – Vyssh. shk., 1999 – 499s.