

УДК 621.391

И.И. Сопронюк, В.П. Лысечко, Е.А. Ухова

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков

МЕТОД МОНИТОРИНГА СПЕКТРА В КОГНИТИВНЫХ РАДИОСЕТЯХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО КРИТЕРИЯ АКАЙКЕ

В статье исследуется метод анализа спектра на основании информационного критерия и весовых коэффициентов Акайке. Представлены основные требования и структура мониторинга спектра в когнитивных сетях, а также построена упрощенная модель системы когнитивного радио. Представлен обобщенный алгоритм предложенного метода.

Ключевые слова: когнитивное радио, анализ спектра, белый шум, Рэлеевские замирания, затенения, функциональные характеристики приемника.

Введение

Развитие телекоммуникационных систем приводит к постоянному усложнению методов регулирования использования ограниченного частотного ресурса. Помехи от одновременно используемых в одном частотном диапазоне радиопередатчиков приводят к значительным искажениям в передаваемой информации и могут значительно затруднять работу телекоммуникационных систем различного назначения [1]. Одним из возможных путей решения указанной проблемы является переход к системам когнитивного радио.

Подход к построению интеллектуальных радиосистем, получивший название когнитивное радио, является передовой технологией, позволяющей обеспечить рациональное использование радиочастотного спектра [2].

К отличительным особенностям когнитивного радио следует отнести то, что эти радиосистемы способны получать и передавать сигнал на адаптивно изменяемых радиочастотах, а также изменяя вид модуляции, тип кодирования и другие параметры системы.

Используемая в системах когнитивного радио вычислительная система должна накапливать информацию об окружающей среде и на основе имеющейся информации вырабатывать различные стратегии использования телекоммуникационной системы. При этом в ходе обучения система когнитивного радио должна учитывать особенности используемых полос частот и допустимые режимы использования имеющейся аппаратуры. Однако вопросы разработки исследования алгоритмов, предназначенных для использования в системах когнитивного радио, в настоящее время находятся в стадии исследования.

Когнитивные радиотерминалы обладают способностью обнаруживать и динамически использовать диапазоны частот для доступа к сети. Это осу-

ществляется посредством автономного обнаружения свободных поддиапазонов в диапазоне радиочастот. В статье исследуется метод слепого обнаружения свободных поддиапазонов по диапазону спектра. Данный метод для выявления свободных участков спектра использует информационный критерий Акайке и весовые коэффициенты [5].

1. Анализ задач систем когнитивного радио

Под системой когнитивного радио понимается радиосистема, обладающая механизмами самоуправления с различными уровнями способности адаптироваться к изменяющейся радиосреде. При этом механизмы самоуправления базируются на принципах обучения и искусственного интеллекта.

К особенностям систем когнитивного радио следует отнести:

1. Возможность получать информацию о состоянии окружающей радиосреды.
2. Возможность проводить интеллектуальный анализ информации о состоянии окружающей радиосреды.
3. При изменении радиосреды адаптивно изменять параметры телекоммуникационной системы таким образом, чтобы обеспечить эффективное функционирование системы связи.

На рис. 1 показана упрощенная модель системы когнитивного радио.

При взаимодействии когнитивного блока с радиосистемой одними из важнейших критериев являются настройки радиосистемы и результаты измерений. Под настройками радиосистемы понимаются тип модуляции, параметры модуляции, диапазон частот и т.п.

Под результатами измерений понимаются мощность сигнала, частота ошибочных бит (Bit Error Rate (BER)) и т.п. Системы когнитивного радио, базируясь на результатах измерений, строят

систему знаний об окружающей радиосреде и затем на основе этой модели изменяют настройки радиосистемы таким образом, чтобы улучшить качество связи. Анализ иллюстрируемой на рис. 1 модели системы когнитивного радио показывает, что представленная архитектура может быть реализована на основе систем искусственного интеллекта.

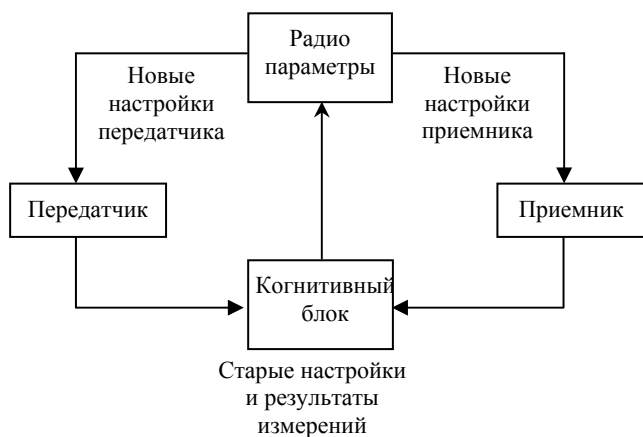


Рис. 1. Упрощенная модель когнитивной радиосистемы

Основной теоретической задачей, решаемой при разработке систем когнитивного радио, является задача многокритериальной оптимизации. При этом в системах когнитивного радио эта задача должна быть решена в режиме реального времени для постоянно изменяющейся радиосреды. В связи с этим когнитивный блок должен включать в себя множество целевых функций, методы их анализа и алгоритмы оптимизации этих целевых функций в зависимости от характеристик радиосистемы. Таким образом, когнитивный блок должен обладать следующей функциональностью: возможностью наблюдать за окружающей радиосредой, адаптироваться в этой постоянно изменяющейся среде, планировать действия, решать, обучаться и действовать.

Для решения задачи наблюдения за окружающей средой система когнитивного радио должна быть дополнена датчиками, которые обеспечивают информацию об окружающей среде.

Для реализации принятых решений в системе когнитивного радио необходимо использование актюаторов, позволяющих изменить радиосистему таким образом, чтобы обеспечить ее эффективное использование.

Таким образом, когнитивный блок должен включать компоненты следующих трех типов:

1) Компонент восприятия. В него должны быть включены датчики, обеспечивающие информацию о состоянии окружающей радиосреды, а также данные о доступных вычислительных ресурсах системы когнитивного радио и т.д.

2) Компонент обучения и рассуждения. Он должен обеспечивать обучение системы и принятие решений в зависимости от информации, предоставляемой компонентом восприятия.

3) Компонент исполнения. Этот блок должен включать в себя механизм адаптации, позволяющий изменить параметры системы когнитивного радио.

2. Структура и требования к мониторингу спектра в когнитивных радиосетях

Каждый радиотерминал в когнитивных сетях непрерывно выполняет мониторинг спектра на наличие свободных каналов. Результаты анализа передают базовой станции, и она принимает окончательное решение относительно пригодности канала. При принятии решения базовая станция опирается на результаты анализа спектра, информацию о местоположении, а также на вспомогательную информацию.

Так как все результаты анализа передаются базовой станции, мониторинг спектра можно рассматривать как обработку сигналов и функциональных сообщений [3].

Анализ спектра необходим для аналогового и цифрового телевидения, а также для сотовых телефонов. Промышленная радиопередача использует беспроводные телефоны в свободных телевизионных каналах. Формат аналогового и цифрового телевидения зависит от области эксплуатации. Формат сигналов сотовых телефонов не стандартизирован. Полоса пропускания типично ограничивается 200 кГц. Необходимое время обнаружения для всех трех типов сигнала (аналоговое и цифровое телевидение, сотовые телефоны) составляет 2 секунды. Необходимая чувствительность анализа – это уровень мощности, при котором вероятность обнаружения составляет 0,9, в то время как вероятность ложного обнаружения составляет 0,1 [4].

В табл. 1 отображена необходимая чувствительность приемника для трех типов лицензированных сигналов для телевизионного канала 6 МГц [4].

Как видно из таблицы, некоторые лицензированные сигналы (например, цифровое телевидение) должны быть детектированы при низком значении SNR [4]. Это представляет первичную проблему в анализе спектра.

Таблица 1
Требования к мониторингу спектра

	Аналоговое ТВ	Цифровое ТВ	Сотовые телефоны
Чувствительность, дБм	-94	-116	-107
SNR, дБ	1	-21	-12

Обобщенная структурная схема мониторинга спектра представлена на рис. 2.

Первые два входа, "Номер канала" и "Полоса пропускания канала", определяют, какой канал анализировать, а после – пропускную способность этого канала. Характеристики сигналов для анализа определяется входом "Тип сигнала". Типы сигналов включают различные аналоговые телевизионные сигналы (например, NTSC), цифровые телевизионные сигналы (например, ATSC), сигналы сотовых телефонов и т.д. Вход "Способ анализа" определяет один из способов для анализа спектра. Вход "Макс. ВЛО" определяет максимальную вероятность ложного обнаружения в случае наличия в канале только шума.



Рис. 2. Обобщенная структурная схема мониторинга спектра

3. Метод мониторинга спектра на основе критерия Акайке

Суть этого метода состоит в том, чтобы обнаружить свободную полосу частот в спектральном диапазоне, используя информационный критерий Акайке [5].

Известно, что помехи в канале могут быть смоделированы при помощи Гауссовского распределения. Существует необходимость исследовать метод мониторинга спектра на основании критерия Акайке с целью построения упрощенного алгоритма на его основе.

Информационный критерий Акайке (AIC) — критерий, применяющийся исключительно для выбора из нескольких статистических моделей. Разработан в 1971г. как «an information criterion» («некий информационный критерий») Г. Акайке и предложен им в статье 1973 года [5].

Предпосылкой к созданию критерия послужила задача оценки качества предсказаний модели на тестовой выборке при известном качестве на обучаю-

щей выборке при условии, что модель настраивается по методу максимума правдоподобия. То есть стояла задача оценки переобучения модели. Акайке, используя теорию информации (в том числе расстояние Кульбака-Лейблера), смог для ряда частных случаев получить искомую оценку.

Назовем рабочей моделью выборки полученного сигнала, которые распределены согласно функции плотности вероятности f . Рабочая модель обычно неизвестна, так как доступно только конечное число наблюдений. Поэтому, для оценки рабочей модели аппроксимирующая вероятностная модель должна быть определена при использовании наблюдаемых данных. Аппроксимирующая модель обозначена как θ .

Как показано в [5], в теории информации расстояние Кульбака-Лейблера описывает несоответствие между двумя функциями вероятности f и g_θ :

$$D(f \| g_\theta) = E\{\log f_x(X)\} - E\{\log g_\theta(X)\} \\ = -h(X) - \int f_x \log g_\theta(x) dx, \quad (1)$$

где X – случайная переменная, распределенная согласно случайной функции плотности вероятности f , $h(\cdot)$ обозначает дифференциальную энтропию.

Известно, что расстояние Кульбака-Лейблера является неотрицательным, то есть, $D(f \| g_\theta) \geq 0$. Это подразумевает, что несоответствие Кульбака-Лейблера

$$-\int f_x \log g_\theta(x) dx = h(X) + D(f \| g_\theta) \quad (2)$$

приближается к дифференциальной энтропии X для качественного улучшения модели g_θ . Дифференциальная энтропия X достигается только при $f = g_\theta$.

Применяя слабый закон больших чисел, выражение (2) может быть аппроксимировано усреднением вероятностных значений данной модели по N независимым наблюдениям x_1, x_2, \dots, x_N согласно:

$$-\int f_x \log g_\theta(x) dx \approx -\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log g_\theta(x_n). \quad (3)$$

Расстояние Кульбака-Лейблера (2) зависит от вектора θ , который непосредственно является функцией фактических наблюдений x_1, x_2, \dots, x_N . Если бы использовалось множество наблюдений $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_N$, было бы получено другое расстояние Кульбака-Лейблера. Ожидаемое расстояние Кульбака-Лейблера представлено как:

$$-E_\theta \left\{ \int f_x(x) \log g_\theta(x) dx \right\}. \quad (4)$$

Суть рассматриваемого метода состоит в том, что при принятии оптимального решения необходи-

мо выяснить, соответствует ли наблюдаемый сигнал определенному пороговому значению.

Тогда информационный критерий Акайке будет иметь вид [5]:

$$AIC = -2 \sum_{n=1}^N \log g_{\tilde{\theta}}(x_N) + 2U. \quad (5)$$

Функция вероятности как функция $L(\theta)$ с x_1, x_2, \dots, x_N наблюдениями:

$$L(\theta) = f_{\theta}(x_1, x_2, \dots, x_N). \quad (6)$$

Максимальная вероятностная оценка $\tilde{\theta}$:

$$\tilde{\theta} = \arg_{\theta} \max L(\theta). \quad (7)$$

Выражение максимальной вероятности в нашем случае:

$$\tilde{\theta} = \arg_{\theta} \max \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log g_{\theta}(x_N). \quad (8)$$

Для определения соответствия принятого сигнала шуму при помощи (5) вычисляются весовые коэффициенты Акайке [6]:

$$W_j = \frac{e^{\frac{1}{2}\Phi_j}}{\sum_{i=1}^N e^{\frac{1}{2}\Phi_j}}, \quad (9)$$

где Φ_j – разность информационных критериев Акайке.

$$\Phi_j = AIC_j - \min_i AIC_i, \quad (10)$$

где $\min_i AIC_i$ означает минимальный критерий Акайке.

Весовые коэффициенты Акайке дают возможность не только определить соответствие принятого сигнала Гауссовскому закону распределения, но также и предоставляет информацию об относительном качестве этого сигнала [5].

Шум в канале можно аппроксимировать белым Гауссовским шумом. В частности, диапазон спектра полученного сигнала сканируется посредством метода «скользящего окна».

Далее вычисляются весовые коэффициенты Акайке анализируемого диапазона, после чего устанавливаются пороговые значения для определения характера полученного сигнала.

Структурная схема рассматриваемого алгоритма представлена на рис. 3.

Данный алгоритм можно выполнить в четыре шага:

- 1) Оценка параметров распределения:

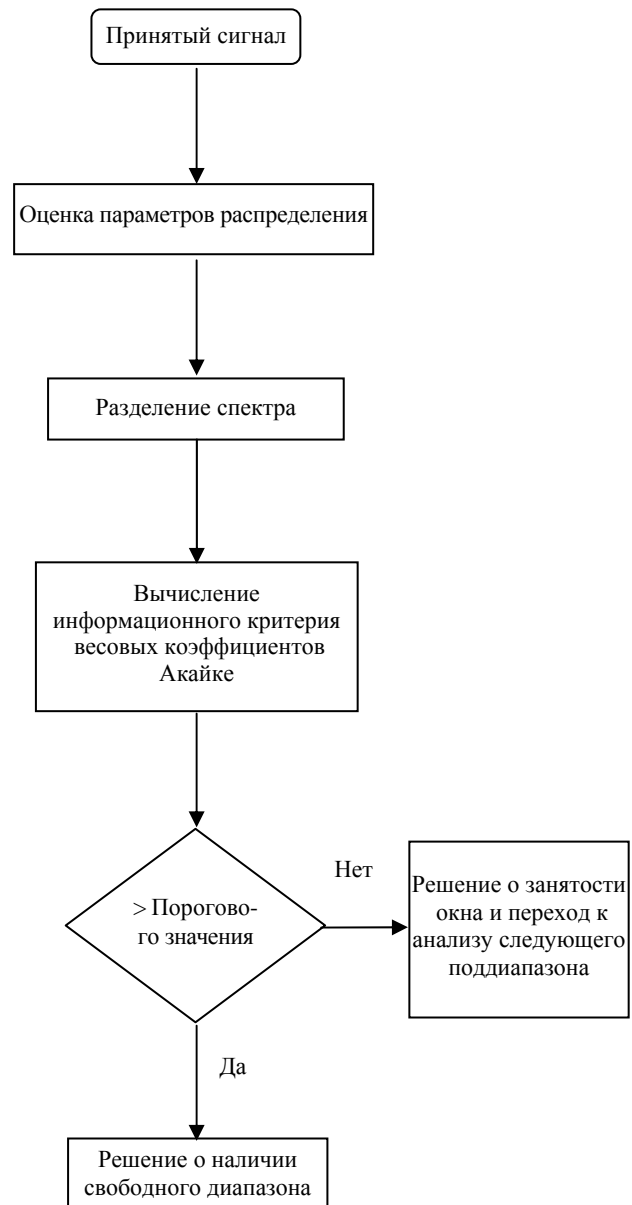


Рис. 3. Упрощенная структурная схема обобщенного алгоритма анализа спектра

На первом шаге алгоритма выбирается ширина окна в анализируемом спектре радиочастот, используя (8).

Например, для сигналов GSM окно устанавливается в 200 кГц, что равняется ширине полосы GSM.

- 2) Разделение спектра на полосы:

Третий шаг определяет положение свободных поддиапазонов по спектру. Фактически, положение одного свободного поддиапазона определяет максимальная величина весовых коэффициентов.

- 3) Вычисление информационного критерия и весовых коэффициентов Акайке:

На втором шаге вычисляется величина информационного критерия, а затем весового коэффициента Акайке, используя (9).

После вычисления значений соответствующих

весовых коэффициентов, окно перемещается по одному отсчету до конца диапазона.

4) Сравнение с пороговыми значениями:

В конце устанавливаются пороговые значения весовых коэффициентов. На этой стадии определяется наличие сигнала первичного пользователя. Если вычисленные весовые коэффициенты выше, чем пороговые, принимается решение о том, что поддиапазон свободен.

Следовательно, вторичный пользователь может его использовать.

В случае если вычисленные весовые коэффициенты ниже пороговых, принимается решение о наличии первичного пользователя в интересующем диапазоне.

Выводы

В статье была построена простейшая модель когнитивной сети радиосвязи, а также определены обобщенная структурная схема мониторинга спектра и требования к нему.

На основе модели был исследован метод слепого обнаружения свободного поддиапазона в диапазоне радиочастот в когнитивных радиосетях на основе теоретического информационного критерия и весовых коэффициентов Акайке.

В результате был построен алгоритм, реализующий данный метод, отличительной чертой которого является простота реализации по сравнению с известными алгоритмами [8 – 9] за счет уменьшения количества выполняемых операций.

Список литературы

1. Зинченко Л.А. Эволюционное проектирование элементов телекоммуникационных систем / Л.А. Зинченко, С.Н. Сорокин. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – С. 1-2.
2. Rondeau T.W. Artificial Intelligence in Wireless Communications / T.W. Rondeau, C.W. Bostian. – Artech House Publishers, 2009. – P. 11-16.

3. IEEE P802.22/D0.5, Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands, Mar. 2008. – P. 10.

4. Stevenson Carl R. Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard / Carl R. Stevenson, Carlos Cordeiro, Eli Sofer, Gerald Chouinard // IEEE 802.22-05/0007r46, Sept. 2005. – P. 24-28.

5. Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle / H. Akaike // 2nd International Symposium on Information Theory, Budapest, Hungary, 1973. – P. 267-281.

6. Akaike H. On the likelihood of a time series model / H. Akaike // The Statistician. – Dec. 1978. – V. 27, no. 3/4. – P. 217-235.

7. Zayen B. Blind Spectrum Sensing for Cognitive Radio Based on Model Selection / B. Zayen, A.M. Hayar, D. Nussbaum. – Mobile Commun. Group, Inst. Eurecom, Sophia Antipolis, 2008. – P. 1-4.

8. Ganesan G. Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks / G. Ganesan, Y. Li // Proc. Dynamic Spectrum Access Nets., Baltimore, MD, 2005. – P. 137-143.

9. Лисечко В.П. Дослідження методів аналізу спектру в когнітивних радіомережах / В.П. Лисечко, Ю.Г. Степаненко, І.І. Сопронюк, Н.О. Брюзгіна // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – X.: XV ПС, 2010. – Вип. 3 (25). – С. 137-145.

Поступила в редколлегию 18.07.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Кузнецов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МЕТОД МОНИТОРИНГУ СПЕКТРУ В КОГНІТИВНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО КРИТЕРІЯ АКАЙКЕ

І.І. Сопронюк, В.П. Лисечко, О.О. Ухова

У статті досліджується метод аналізу спектру на основі інформаційного критерію та вагових коефіцієнтів Акайке. Наведено основні вимоги та структуру моніторингу спектру у когнітивних мережах, а також побудовано спрощену модель системи когнітивного радіо. Представлено узагальнений алгоритм запропонованого методу.

Ключові слова: когнітивне радіо, аналіз спектру, білий шум, Релеєвські завмирання, затінювання, функціональні характеристики приймача.

THE METHOD OF THE SPECTRUM SENSING IN COGNITIVE RADIO NETWORKS ON THE BASIS OF INFORMATION CRITERION AKAIKE USE

I.I. Sopronyuk, V.P. Lysechko, O.O. Ukhova

The article investigates the spectrum sensing on the information criterion and Akaike weights basis. It present basic requirements and the structure of spectrum sensing of the cognitive radionetworks, and also builds the model of an elementary system of the cognitive radio. The generalised algorithm of the offered method is constructed.

Keywords: cognitive radio, the spectrum analysis, white noise, Rayleigh fading, shadowing, receiver operating characteristics.