

Имитационное моделирование разделения данных первичных и вторичных пользователей в когнитивной системе связи

В. М. Чертков, email: v.chertkov@psu.by¹

Р. П. Богущ, email: r.bogush@psu.by¹

Е. Р. Адамовский, email: e.adamovsky@psu.by¹

Н. М. Наумович, email: naumovich@bsuir.by²

И. К. Стежко, email: ste@bsuir.by²

¹Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

***Аннотация.** Разделение данных первичных и вторичных пользователей является актуальным для обеспечения возможности планирования режима совместного доступа в когнитивной системе связи. В работе рассмотрены признаки первичных и вторичных пользователей, приводится алгоритм их классификации в кадре сигнала сети LTE и соответствующая имитационная модель, которая реализована с использованием программной среды MatLab.*

***Ключевые слова:** когнитивное радио, первичные и вторичные пользователи, динамический доступ к спектру.*

Введение

Стремительное развитие телекоммуникационных систем формирует задачу рационального использования ресурсов систем связи, решение которой является актуальным на протяжении последних десятилетий [1, 2]. Основной идеей когнитивной радиосвязи является использование незанятых в текущий момент частотных ресурсов первичных пользователей (Primary Users, PU) для организации передачи данных вторичных пользователей (Secondary Users, SU) на основе технологии динамического доступа к спектру (Dynamic Spectrum Access, DSA) [3], которая заключается в обнаружении «белых пятен» (white spaces) – временно свободных лицензированных частот, на условиях ограничений создаваемых ими помех [4].

В работе [5] описывается алгоритм разделения сигналов и классификация данных PU и SU, при этом SU генерируют сигнал DVB-T в соответствующем диапазоне частот. Данные разделяются на основе корреляционного анализа и неравномерности спектра на границах частотных поддиапазонов. Публикация [6] посвящена классификации

пользователей с применением классификаторов SVM и KNN. Для обнаружения данных PU использовались амплитудные значения спектра и опорная структура кадра SU. Статья [7] описывает метод совместного использования лицензионного спектра в беспроводных сетях с TDMA и OFDMA разделением. В работе представлена обобщённая структура кадра для SU, которая содержит заголовок и данные. Формирование нового кадра производится на основе результатов обнаружения предыдущего кадра. В ходе анализа работ установлено, что классификация данных PU и SU осуществляется на основе амплитудных значений зондируемого спектра и структуры передаваемых данных, которую выделяют методами корреляции.

Адаптация передатчика к линии радиосвязи подразумевает оптимальный выбор схемы модуляции и типа кодирования на основе информации о состоянии канала передачи. Важной задачей в программно-определяемых радиосистемах является распознавание типа модуляции принимаемых сигналов при различных отношениях сигнал/шум (ОСШ). Задачи радиомониторинга включают не только обнаружение события выхода пользователя в эфир, но и определение конкретного типа сигнально-кодовой конструкции (формата кадра), что требует обязательной достоверной оценки типа и позиционности модуляции. Кроме того, SU должны совместно координировать доступ к спектру и избегать коллизий между всеми пользователями когнитивной системы связи.

Данная работа посвящена формированию классификационной модели данных, передаваемых в когнитивной системе связи на базе сети LTE, на основе типа их модуляции и разработке модели разделения данных PU и SU для обеспечения возможности планирования режима совместного доступа с надлежащей координацией между когнитивными устройствами.

1. Модель разделения данных первичных и вторичных пользователей в когнитивной системе связи

Для формирования данных PU предложено использовать модель на основе сети LTE [8]. В каждый кадр LTE интегрируются данные SU, формируется радиосигнал для его передачи, который подвергается шумовому воздействию, после чего осуществляется процедура восстановления переданного кадра. По принятым данным классифицируется тип пользователя. В качестве PU предлагается использовать абонентские устройства (User Equipment, UE) и базовые станции (Base Station, BS), которые обмениваются данными в сети LTE по восходящей и нисходящей линиям связи. SU являются когнитивными

устройствами, которые используют технологию DSA [3] для организации взаимной передачи данных по рабочим каналам сети LTE.

В работах [2, 8, 9] описана модель формирования карты радиоактивности (Radio Environment Map, REM) в сети LTE путем моделирования радиосигналов на местности с учетом сценариев перемещения и активности UE. Данная модель является основой для определения занятых и свободных частотных ресурсов.

2. Классификация данных в когнитивной системе связи на базе сети LTE

Предлагается модель классификации передаваемых данных, представленная на рис. 1, которая построена на основе типов сигналов, передаваемых в сети LTE и определенных спецификацией TS 36.211, с учетом данных SU [8].

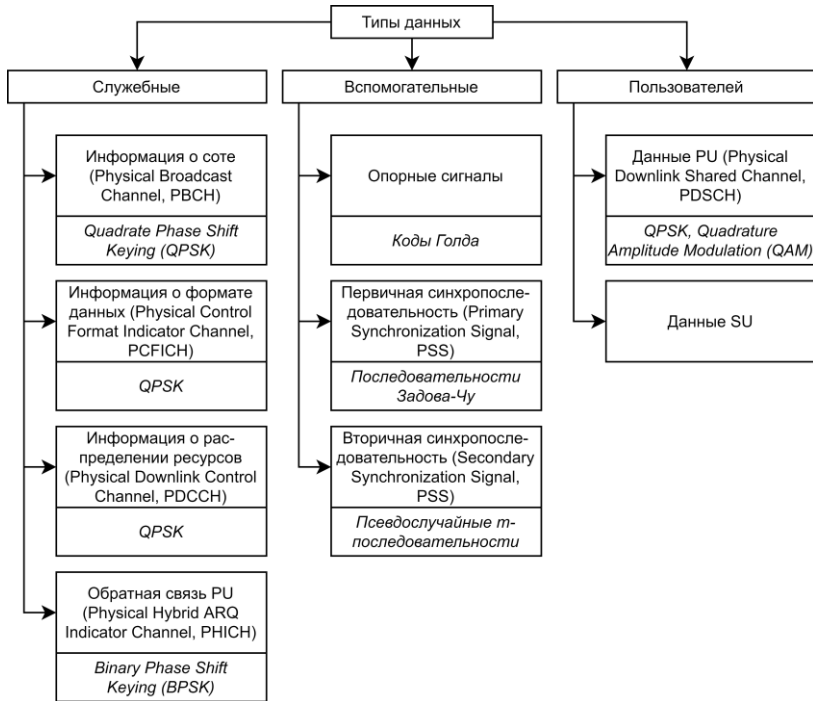


Рис. 1. Классификация данных в когнитивной системе связи на базе LTE и применяемая модуляция

Отнесение сигнала к конкретному типу предлагается осуществлять на основании схемы применяемой модуляции, а также расположения данных в ресурсной сетке кадра LTE.

Передача пользовательских данных от BS к UE осуществляется транспортными блоками каждый подкадр (1 мс) LTE. Данные содержат блок системной информации (System Information Block, SIB) и сведения о сигналах вызова абонентов.

Для организации связи между SU необходимо использовать определенный протокол, который должен поддерживать пакетную передачу с определенной структурой и форматом кадра в течение одного ресурсного блока (Resource Block, RB) кадра LTE. На данный момент не существует спецификации организации обмена данными среди описанных SU. Для упрощения имитационного моделирования предлагается использовать кадр, размер которого составляет один RB со следующей структурой данных: номер посылки, номер пакета, количество пакетов, данные, биты проверки целостности (Cyclic Redundancy Check, CRC), уникальный номер посылки. Структура пакета передаваемого сигнала SU представлена на рис. 2.

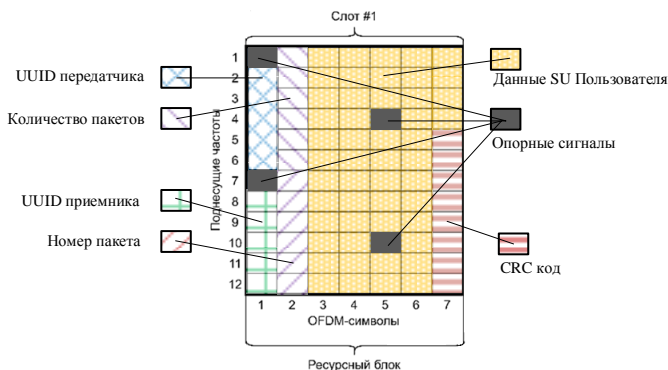


Рис. 2. Структура пакета передаваемого сигнала SU

3. Программная реализация модели и результаты исследований

Для генерации пользовательских данных PU со случайным распределением частотных ресурсов необходимо задать параметры BS: идентификатор, число подкадров, номера RB, кадра и подкадра, ширина канала, количество портов, циклический префикс, режим доступа. Информационные биты (полезная нагрузка) передаются в виде массива ячеек и заполняют выделенный частотный ресурс.

Для внедрения данных SU необходимо определить свободный RB, поиск которого осуществляется в заданной полосе полным перебором кадра LTE. Первый свободный RB задействуется для передачи данных. На рис. 3 приводится ресурсная сетка с интегрированными данными SU.

Для имитации канала связи ресурсная сетка с данными SU преобразуется в радиосигнал LTE и суммируется с белым шумом. Для имитации приема переданных данных определяется начало кадра LTE путем синхронизации по сигналам синхропоследовательностей (Primary Synchronization Signal, PSS и Secondary Synchronization Signal, SSS) и вычисляется физический идентификатор соты PCI.

Полное восстановление ресурсной сетки можно выполнить, декодируя блоки служебной информации (Master Information Block, MIB) и SIB. Каждый блок SIB содержит набор соответствующих параметров и данные PU, а некоторые включают блок MIB, который содержит значения наиболее часто передаваемых параметров: количество выделенных RB и антенн нисходящей связи, номер кадра системы, информация о подтверждении приема пакетов в восходящей линии связи. Блоки MIB поддерживаются на уровне широковещательного канала (Broadcast Channel, BCH), а все другие блоки SIB (включая SB) – на уровне нисходящего канала совместного использования (Down Link Shared Channel, DL-SCH).

Классификация осуществляется на основе данных о расположении служебной информации, значениях и типе модуляции данных в ресурсных элементах сетки, включая шаги: определение рабочей станции и ее основных параметров; сопоставление опорных сигналов (Cell RS) с найденными объектами на ресурсной сетке, проверка и сопоставление PSS и SSS; сопоставление служебных данных по их расположению и виду модуляции; поиск данных PU по декодированной информации из MIB и SIB блоков о занятых RB; поиск данных SU по всей ресурсной сетке с анализом отдельных RB (при обнаружении UUID одного из SU весь RB относится к SU). Результат классификации представлен на рис. 3.

Моделирование проводилось с использованием программного обеспечения MatLab. Было сформировано 1000 кадров LTE с данными PU, в которые добавлялись сигналы SU. Каждый кадр подвергался наложению шума в диапазоне от плюс 30 дБВт до минус 10 дБВт с шагом в 1 дБВт. Затем выполнялась классификация и разделение данных PU и SU с оценкой вероятности правильного декодирования служебной информации. Оценка рассчитывалась как число правильных считываний данных в MIB и SIB записях с информацией о пользовательских данных PU от общего количества измерений при заданном ОСШ.

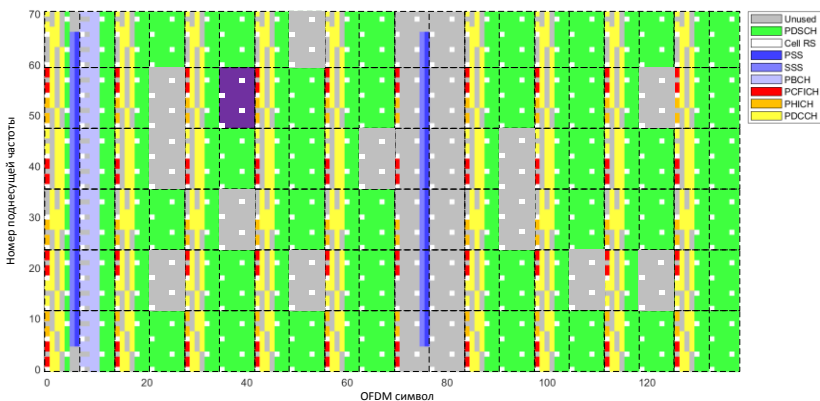


Рис. 3. Структура кадра с классификацией данных

Аналогичным образом производилась оценка правильного декодирования данных SU. Выполненный анализ результатов работы модели показал, что вспомогательные данные определяются даже при очень малых значениях ОСШ (менее 1 дБВт). Служебные данные при значении ОСШ = 5 дБВт успешно декодируются с вероятностью 0.98, а данные SU – при значении ОСШ = 10 дБВт, это связано с отсутствием обработки помехоустойчивым кодам при формировании кадра данных SU для интеграции с данными PU.

Заключение

Разделение данных PU и SU в ходе приема радиосигнала и его предварительной обработки осуществляется в три этапа: поиск синхропоследовательностей PSS и SSS, определение статических параметров передающей BS; восстановление ресурсной сетки из принятого радиосигнала; классификация путем декодирования служебной информации PU и поиска занятых для передачи данных SU блоков. В результате имитационного моделирования выполнено разделение данных PU и SU на базе сотовой сети связи LTE с имитацией шумового воздействия на формируемый радиосигнал.

Список литературы

1. Support Vector Machine-Based Classification of Malicious Users in Cognitive Radio Networks / M. Khan [и др.] // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2020. – Т. 2020. – С. 1-11
2. Цепи Маркова при формировании карты радиосреды для когнитивной системы связи / Е. Р. Адамовский [и др.] // Вестник

полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2022. – № 11. – С. 8-15.

3. Косичкина Т. П., Сперанский В. С., Спиринов А. П., Фролов А. А. Когнитивные сверхширокополосные радиосистемы как метод повышения эффективности использования радиочастотного спектра // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9. – № 12. – С. 37–43.

4. Beibei W., Ray Liu K. J. Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey // IEEE Journal of selected topics in signal processing. 2011. V. 5, № 1. P. 5-23.

5. Guibene, W. Signal separation and classification algorithm for cognitive radio networks / W. Guibene, D. Slock. – 2012. – С. 301-305.

6. Pattern Classification Techniques for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: SVM and W-KNN Approaches / M. T. Karaputugala [и др.] // GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference. – 2012. – С. 1260-1265.

7. Pandit, S. An overview of spectrum sharing techniques in cognitive radio communication system / S. Pandit, G. Singh // Wireless Networks. – 2017. – Т. 23

8. Адамовский, Е. Р. Модель формирования карты радиосреды для когнитивной системы связи на базе сотовой сети LTE / Е. Р. Адамовский, В. М. Чертков, Р. П. Богуш // Компьютерные исследования и моделирование. – 2022. – Т. 14, № 1.

9. Богуш, Р. П. Состав и представление данных для модели когнитивной системы связи на базе LTE / Р. П. Богуш, Е. Р. Адамовский, В. М. Чертков // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2021. – № 12. – С. 13-20.