

**ГЕНЕРАЦИЯ СЦЕНАРИЕВ ПОВЕДЕНИЯ АБОНЕНТОВ
ДЛЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ LTE**

*аспирант Е. Р. АДАМОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц. Р. П. БОГУШ,
канд. техн. наук В. М. ЧЕРТКОВ
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)*

***Аннотация.** Представлена методика формирования расписаний перемещения и сеансов передачи данных абонентских устройств для имитационной модели системы сотовой связи LTE. Методика позволяет учитывать влияние на поведение абонентов некоторых временных параметров: тип дня, номер дня недели, номер недели месяца. При этом формирование сценариев осуществляется при помощи цепи Маркова и генератора импульсного шума. Модель выполнена в среде MatLab, представлены результаты работы программы.*

***Ключевые слова:** LTE, имитационное моделирование, когнитивное радио.*

Введение. Телекоммуникационные системы в процессе функционирования, как правило, не используют весь выделенный для них спектральный диапазон одновременно, при этом свободные частоты не могут быть использованы вторичными пользователями, поскольку вносимые ими помехи способны нарушить работу первичных пользователей. С увеличением числа систем связи и их абонентов, невозможность использования на вторичной основе лицензированных частот усугубляет дефицит частотного ресурса по причине его нерационального использования. Возможным решением проблемы является технология динамического доступа к спектру, в качестве практической реализации которой выступают системы когнитивного радио (cognitive radio, CR). Задача CR заключается в определении доступных временно свободных частот целевой системы связи, их использование и своевременное освобождение при появлении в канале первичных пользователей. При разработке таких систем, первым этапом является моделирование системы связи, на котором значительная сложность представляется в имитации поведения пользователей системы связи, которыми являются устройства под управлением человека, по причине большого числа факторов, влияющих на особенности поведения. Анализ источников [1, 2] свидетельствует об отсутствии общепринятой модели для описания поведения пользователей систем связи, поэтому существует ряд подходов, которые зависят от поставленных задач.

В работе [3] представлена имитационная модель системы сотовой связи LTE для формирования карты радиосреды (radio environment map, REM) CR [4], объектами которой являются базовые станции (base station, BS) и абонентские устройства

(User Equipment, UE). Модель рассчитывает актуальное состояние REM в каждой ячейке координатной сетки с учетом потерь при распространении радиосигналов от излучающих устройств и сохраняет информацию для дальнейшей обработки на внешние файлы целевого устройства. Выходные данные модели могут быть использованы для прогнозирования конфигурации радиосреды вторичными пользователями, в качестве которых выступают системы когнитивного радио.

Следует отметить, что в реальности использование каналов связи абонентами не абсолютно случайно, так как их перемещения, входящие и исходящие сеансы передачи содержат в себе явные или скрытые периодичности и подчиняются сложным законам, которые, тем не менее, можно попытаться аппроксимировать при моделировании более простыми функциями. Например, анализ реальных наборов данных, полученных для различных систем связи [5, 6], подтверждает устойчивый общий характер изменения трафика в рамках суток: спад активности ночью, пики активности в обед и вечером.

В работе [7] при моделировании поведения абонентов учитывались время суток, день недели, определенные даты, периоды месяца и года. Для формирования последовательностей использовались процессы с распределением Пуассона [8], Парето [9], экспоненциальным распределением [10], а также цепи Маркова [11].

Методика генерации сценариев поведения абонентов. Правила функционирования и взаимодействия объектов BS и UE сети LTE определяются спецификациями системы. Абонентские устройства всегда находятся в одном из двух состояний: режим ожидания и передача данных. Периодически они осуществляют поиск канала связи с наилучшим приемом, а после его обнаружения подключаются к соответствующей рабочей станции, которая поддерживает связь с устройствами даже тогда, когда передача пользовательских данных не осуществляется. При запросе от UE, BS выделяет частотный ресурс для сеанса связи, а по его завершению – освобождает для других абонентов.

Каждый лицензируемый диапазон LTE обладает свойствами, которые определяются спецификацией LTE TS 36.101. В нисходящем канале связи применяется технология Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, в восходящем – Single-Carrier FDMA. Режим передачи – с частотным или временным разделением. Каналы разбиваются на несущие шириной от 1.4 до 20 МГц, от 6 до 100 ресурсных блоков (resource block, RB) – единицы частотного ресурса. Каждый RB состоит из 12 поднесущих и 6-7 символов, его длительность равна 0.5 мс. Во временной области пара RB (2 слота) образует подкадр, а 10 подкадров формируют кадр LTE (10 мс).

Генерация сценариев сеансов связи требует выполнения следующих шагов: инициализация общего календаря – последовательности дней различных типов; формирование шаблонов для каждого абонента и возможного типа дня, которые определяют время и длительность событий; вычисление окончательного

расписания на заданный промежуток времени для всех объектов UE на основе календаря и шаблонов с добавлением шума.

Основываясь на характерных значениях времени обнаружения сигналов и установления передачи, а также объема передаваемых данных для существующих систем связи, в качестве единицы времени REM выбран 1 кадр LTE, единица в частотной области REM – диапазон одного RB (180 кГц). Для каждой частотно-временной единицы модель вычисляет ее состояние, соответствующее ситуации «занято» или «свободно» на основе пороговой обработки суммарной мощности сигнала. Таким образом, выходные данные за каждый отсчет содержат матрицу состояний всех диапазонов каждой ячейки с шагом 180 кГц в течение $t_{\text{кадр}} = 10$ мс.

При инициализации модели формируется календарь на заданный период (N дней), которое каждому суточному отсчету назначает комбинацию свойств согласно определенному правилу: номер, тип дня и его номер в неделе, а также номер соответствующей недели в рамках месяца (табл. 1). Количество свойств может быть увеличено при необходимости формирования более сложных зависимостей.

Таблица 1 – Свойства суточных отсчетов

Свойство	Значения	Правила назначения
Номер	1, 2, ... N	–
Тип дня	рабочий	Первые 5 отсчетов каждого фрагмента по 7 дней.
	выходной	Последние 2 отсчета каждого фрагмента по 7 дней.
	праздник	Вероятность 5% замены рабочего или выходного дня.
День недели	понедельник, вторник, ..., воскресенье	Номер отсчета в каждом фрагменте по 7 дней.
Номер недели месяца	1 – 4	Номер 7-дневного фрагмента в рамках периода из 28 дней (1 месяц).

Для каждой комбинации свойств (за исключением порядкового номера) и объекта UE, при помощи цепи Маркова с двумя состояниями, создается набор шаблонов. Вероятности переходов между состояниями каждый раз варьируются при помощи генератора случайных чисел в небольшом диапазоне (рис. 1).

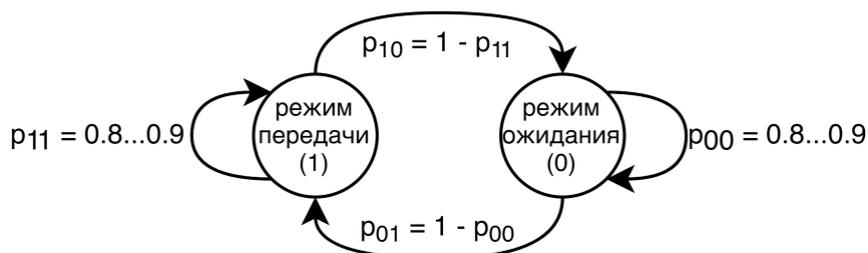


Рисунок 1. – Схема цепи Маркова для генерации расписания сеансов связи

Реализация и тестирование модели. Модель реализована в программной среде MatLab и включает инициализацию пространственной сетки координат и заданных объектов (BS и UE) на ней, а также рабочий цикл, в котором реализуется их поведение, на основе чего генерируется результирующая REM и выходные данные. Сформированные шаблоны (рис. 2) обладают заданной длительностью, которая зависит от шага моделирования $t_{шаг}$, на их основе определяются: время инициализации сеанса связи и его длительность в течение суток.

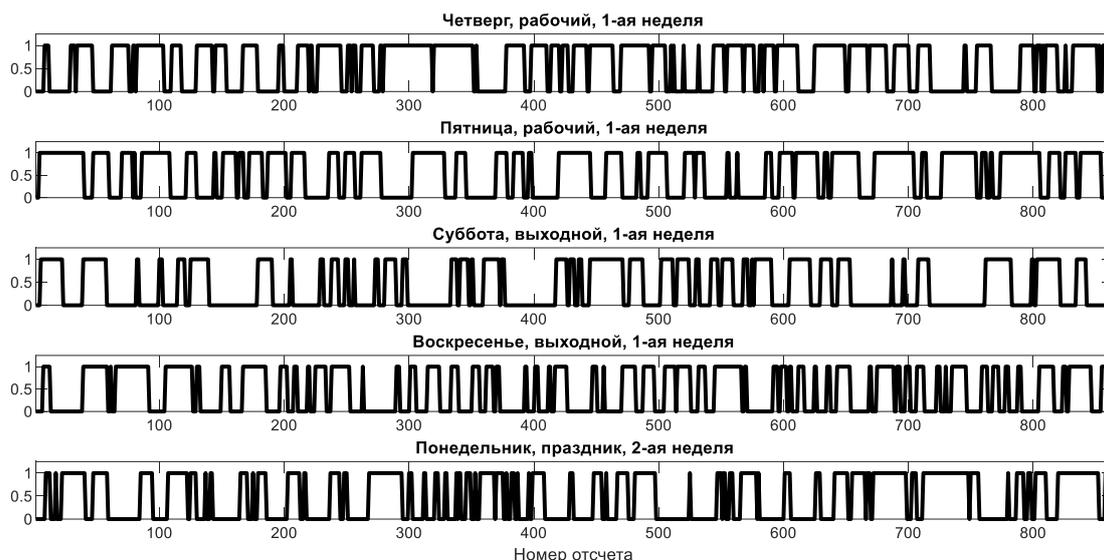


Рисунок 2. – Фрагмент сформированного набора шаблонов

На основе календаря, объектам UE задается расписание сеансов с примесью импульсного шума заданной плотности, который вносит в поведение хаотичность, что характерно для реальных пользователей. На рис. 3 показан фрагмент окончательной последовательности (5 дней), на основе которой объект UE принимает решение о начале и окончании сеанса связи. По горизонтали отмечено время модели, когда абонент инициирует передачу, а по вертикали указана длительность процесса.

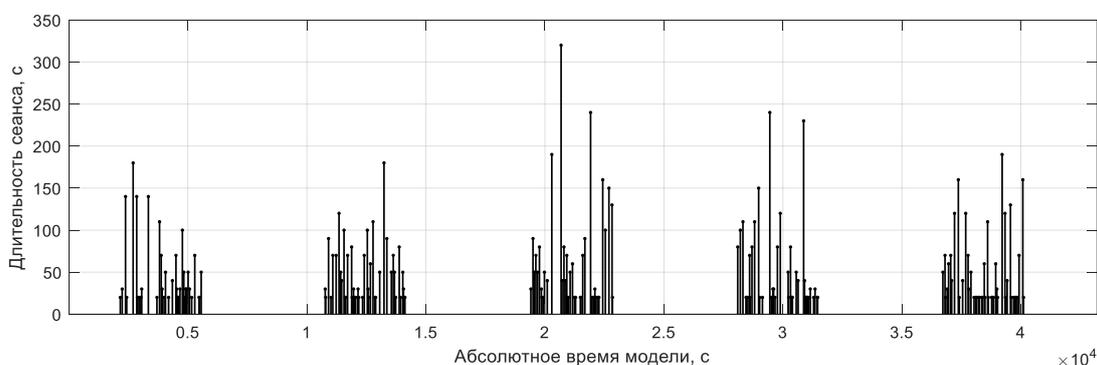
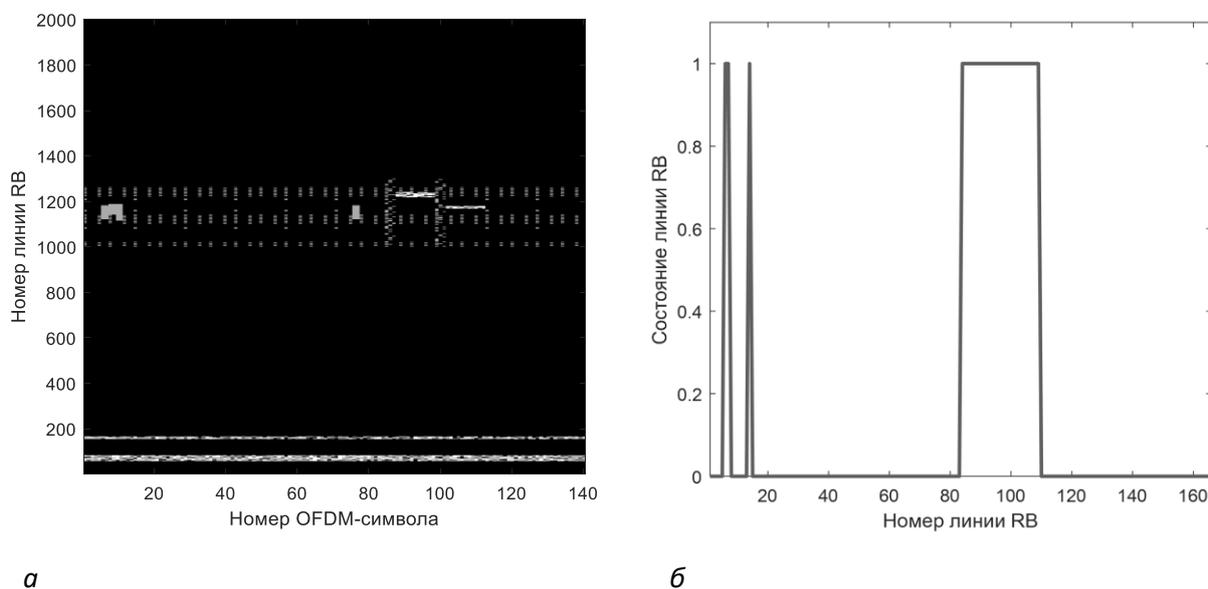


Рисунок 3. – Фрагмент расписания сеансов связи объекта UE

Расписание перемещений задается путем определения времени начала и окончания рабочего дня, а также двух координат, которые символизируют рабочее место абонента и его место жительства. В рабочие дни объект UE находится в «рабочей» ячейке, а все остальное время – в «домашней» [3].

На рис. 4а показана ресурсная сетка в одной из ячеек карты после запуска моделирования, элементы с большей яркостью соответствуют сигналам большей мощности, принятые в точке наблюдения. В нижней части сетки располагается восходящий канал связи, в верхней части – нисходящий. На рис. 5б показан результат обработки ресурсной сетки REM. Значением «1» отмечены линии RB, которые заняты сигналами, формируемыми объектами; значение «0» соответствует свободным линиям, которые могут быть использованы на вторичной основе. Последовательность, представленная на рис. 4б, объединяется с данными других ячеек в текущем кадре и сохраняется в файл для последующего использования.



а – ресурсная сетка в ячейке REM; б – вычисленное состояние линий RB

Рисунок 4 – Преобразование выходных данных имитационной модели

ЛИТЕРАТУРА

1. Efficient Prediction of Network Traffic for Real-Time Applications / M. Iqbal // Journal of Computer Networks and Communications. – 2019. – P. 1–11.
2. Prediction-Based Spectrum Management in Cognitive Radio Networks / Y. Zhao // IEEE Systems Journal. – 2017. –P. 1–12.
3. Адамовский, Е. Р., Чертков, В. М., Богуш, Р. П. Модель формирования карты радиосреды для когнитивной системы связи на базе сотовой сети LTE / Е. Р. Адамовский // Компьютерные исследования и моделирование. – 2022. – № 14(1). – С. 127–146.
4. Fette, B. Cognitive radio technology / B. Fette. – Amsterdam: Elsevier Inc, 2006. – 649 p.
5. Jihong, Z., Xiaoyuan, H. NTAM-LSTM models of network traffic prediction / Z. Jihong // MATEC Web of Conferences, 2022.

6. Trinh, H., Giupponi, L., Dini, P. Mobile Traffic Prediction from Raw Data Using LSTM Networks / H. Trinh // IEEE PIMRC 2018, 9-12 September 2018. – Bologna, 2018.
7. Spectrum hole prediction and white space ranking using artificial neural network for cognitive radio application / I. Sunday [et al.] // International Journal of Scientific & Technology Research. – 2015. – № 4(8). – P. 319–325.
8. Tumuluru, V., Wang, P., Niyato, D. A neural network based spectrum prediction scheme for cognitive radio / V. Tumuluru // Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference on Communications / IEEE Xplore. – Cape Town, 2010.
9. Agarwal, A., Dubey, S., Asif K., Gangopadhyay, R., Debnath, S. Learning based primary user activity prediction in cognitive radio networks for efficient dynamic spectrum access / A. Agarwal // International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM) / Indian Institute of Science. – Bangalore, 2016.
10. Lin Z., Jiang, X., Huang, L., Yao, Y. A Energy Prediction Based Spectrum Sensing Approach for Cognitive Radio Networks // Z. Lin / 5th International Conference on Wireless Communications / Networking and Mobile Computing. – 2009. – P. 1–4.
11. Binary is good: a binary inference framework for primary user separation in cognitive radio networks / H. Nguyen // Networking and Internet Architecture. – 2010.