

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ КОГНИТИВНОГО РАДИО ДЛЯ РАБОТЫ С ДИНАМИЧЕСКИМИ КАНАЛАМИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE ALGORITHM MACHINE LEARNING COGNITIVE RADIO SYSTEM TO WORK WITH DYNAMIC DATA TRANSFER CHANNELS

A. Stenin

Summary. This paper deal with algorithms are considered that make it possible to select and change the radio frequency channel in the cognitive radio system based on the theory of machine learning. The investigated work of the algorithm under conditions with specified dynamic channels in the beam with the help of simulation modeling. The work uses channel bundles containing precedents necessary for machine learning systems. A comparative analysis of the results of the algorithm on the operation of the system in a single-channel mode is performed.

Keywords: cognitive radio, radio channel change, machine learning.

Стенин Александр Владиславович

Аспирант, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики
av.stenin@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются алгоритм, позволяющий выполнять выбор и смену радиочастотного канала в системе когнитивного радио на основе теории машинного обучения. Исследуется работа алгоритма в условиях с заданными динамическими каналами в пучке при помощи имитационного моделирования. В работе используются пучки каналов содержащие прецеденты необходимые для машинного обучения системы. Проводится сравнительный анализ результатов работы алгоритма относительно работы системы в одноканальном режиме.

Ключевые слова: когнитивное радио, смена радиоканалов, машинное обучение.

Введение

Согласно современной концепции когнитивного радио, для передачи данных между некоторыми двумя узлами в сети можно использовать не только первичный канал связи, но и вторичный, т.е. свободный канал или пучок каналов, задействованный в других целях, при этом он может отличаться по технологии, частотном разделении или даже географическом расположении.

Учитывая специфику и современные проблемы технологии когнитивного радио необходимо выделить основную задачу по передаче потока данных с использованием пучка каналов. На этапе моделирования и поиска области выигрыша мы не будем ссылаться на физическую природу каналов, это может быть сделано позднее при рассмотрении конкретной системы передачи.

Рассмотрим систему передачи данных между двумя сетевыми узлами, состоящую из N независимых каналов, один из которых первоначально является кандидатом для рассматриваемого соединения. Все каналы,

которые, возможно, будут использованы системой когнитивного радио, регламентированы стандартом связи используемой технологии передачи, вмешательство (интерференция) когнитивного радио не должно каким-либо образом влиять на поток данных между устройствами, которые используют данный канал как первичный. Это является концептуальной особенностью технологии когнитивного радио, а теоретические аспекты интерференции с первичными пользователями описаны в диссертации Thomas C. Clancy III [1].

Особенность данной технологии заключается в том, что в канале имеются ограниченные временные промежутки (временные слоты) для передачи блоков данных, которые могут быть не заняты первичными пользователями. В спектральной области такие свободные промежутки часто называют белыми пятнами (англ. *Spectrum white spots*). Использование технологии когнитивного радио позволяет обнаружить такие области и инициализировать процедуру перехода на определенный канал, анализируя весь пучок, состоящий из N каналов. Исследование алгоритмов смены радиоканала [2] в условиях динамического изменения параметров канала в пучке

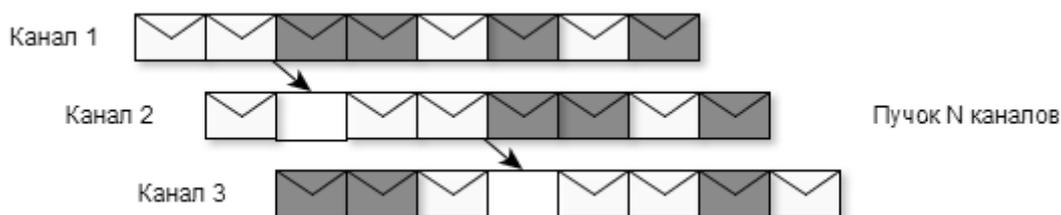


Рис. 1. Циклический переход на вторичный канал

[3] позволяет сформировать имитационную модель, наиболее приближенную к условиям эксплуатации когнитивной системы.

Алгоритмы выбора и смены канала

Система когнитивного радио после инициализации запускает процесс мониторинга и анализа доступного пучка каналов. Математическое описание канала будет производиться по модели Гилберта. Такая модель имеет два состояния канала, хорошее (g) без занятых слотов и плохое (b) с вероятностью занятия блоков $P_{ох}$. Состояния на каждом следующем шаге описываются переходными вероятностями $P_{gg}, P_{bb}, P_{gb}, P_{bg}$ согласно модели Гилберта.

Вероятности «хорошего» и «плохого» состояний определим согласно выражениям 1.2 и 1.3, зная стохастическую матрицу переходных состояний (1.1).

$$P = \begin{pmatrix} P_{gg} & P_{gb} \\ P_{bg} & P_{bb} \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

$$P_{gb} = 1 - P_{gg}, P_{bg} = 1 - P_{bb} \quad (1.2)$$

$$P_g = \frac{P_{bg}}{P_{bg} + P_{gb}}, P_b = \frac{P_{gb}}{P_{bg} + P_{gb}} \quad (1.3)$$

Согласно рассматриваемой концепции когнитивная система получает и анализирует данные о состоянии временных слотов пучка N каналов, и, основываясь на полученной информации, выполняет процесс самообучения. В этом процессе система дополнительно может формировать коэффициенты для каждого канала отражающие приоритет для процедуры смены канала.

Каждый рассматриваемый канал передачи данных представляет собой вектор, состоящий из элементов 0 и 1, отражающих свободный для передачи или занятый слот соответственно. Вектор имеет длину L_m , и формируется генератором согласно модели Гилберта, с заданными значениями вероятностей. В данной работе будут

использованы каналы параметры которых изменяются во времени динамически.

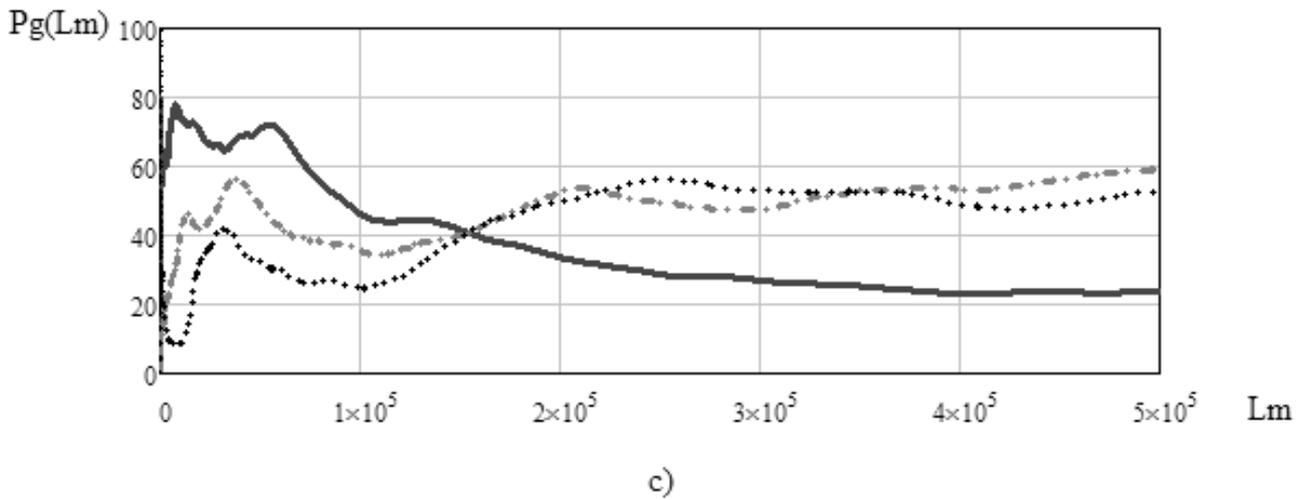
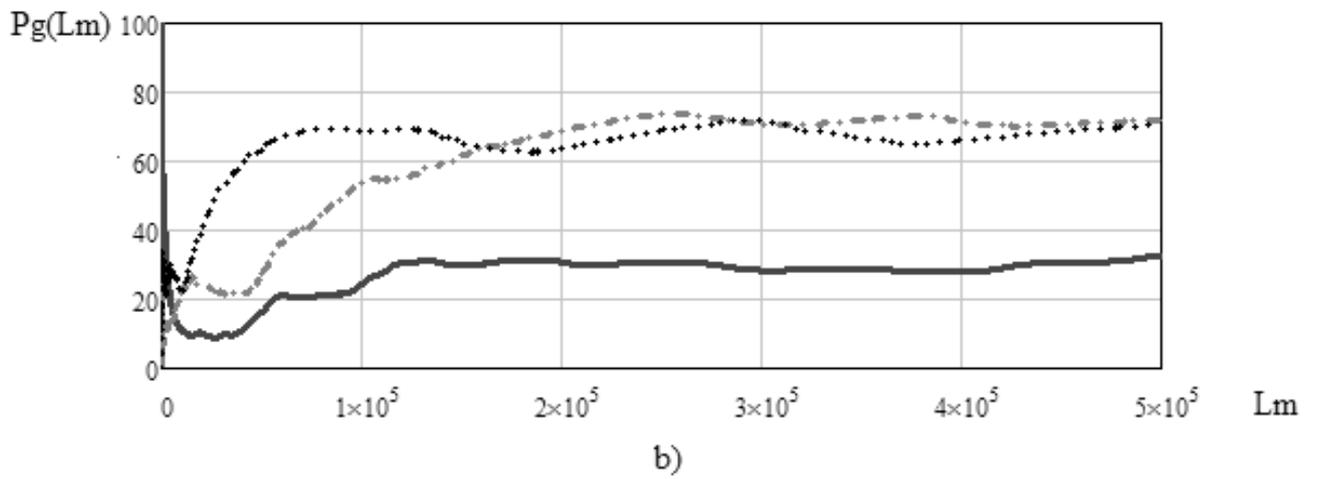
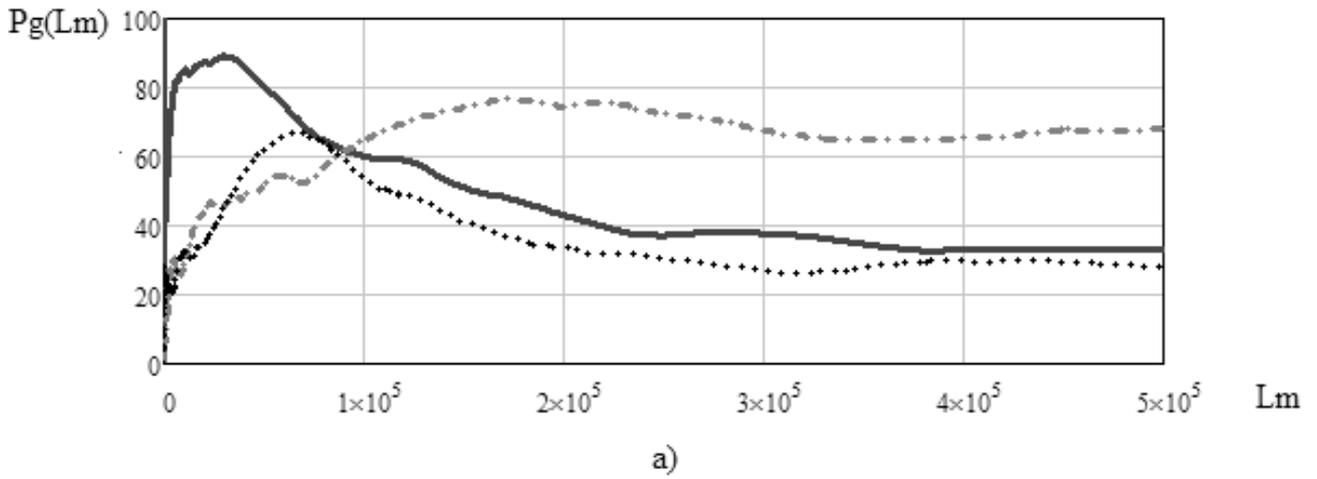
Основной задачей исследуемых алгоритмов является поиск, и выбор подходящего канала согласно сформированному приоритету, а также другим параметрам необходимым для принятия оптимального решения. На рисунке 1 показан условный переход между каналами согласно заданному алгоритму, ячейки с темным фоном отображают занятые слоты, со светлым фоном — свободные слоты (белые пятна), а пустые ячейки — время необходимое для обмена служебной информацией между устройствами не превышающее длину слота.

При работе по выбранному каналу и поиску следующего возможного, существует множество параллельных состояний каналов, изменение которых может быть обнаружено и обработано когнитивной системой. Возникновение таких ситуаций (прецедентов) задается случайным образом при помощи генератора пучка каналов, а и их распознавание является ключевой задачей алгоритма. При выборе канала должны учитываются все коэффициенты для минимизации количества временных слотов, затраченных впоследствии на смену канала.

Во время работы системы частота смены каналов будет определяться исключительно состоянием текущего канала и работой соответствующих алгоритмов. Процесс изменения канала в пучке будет циклическим на всем протяжении процесса передачи данных.

Рассмотрим постановку задачи на примере нескольких пучков каналов с различными характеристиками. Графики зависимости «качества» канала от времени представлены на рисунке 2.

Представленные графики наглядно показывают характеристики каналов в пучке, который используется в качестве входных данных для исследуемого алгоритма. На представленных графиках существует несколько прецедентов различного вида. На графике а) показан простой случай изменения «качества» канала определенного с начала передачи как наиболее приоритетного. Сложность заключается в том, что на определенном



- Канал 1 $P_{gg}=0.93$; $P_{bb}=0.93$; $p=1$; $O=0.03$; $PO=0.53$; $POd=0.51$
- - - Канал 2 $P_{gg}=0.5$; $P_{bb}=0.95$; $p=1$; $O=0.07$; $PO=0.9$; $POd=0.45$
- Канал 3 $P_{gg}=0.75$; $P_{bb}=0.9$; $p=1$; $O=0.05$; $PO=0.7$; $POd=0.5$

Рис. 2. Графики зависимости параметров каналов в пучке $N=3$

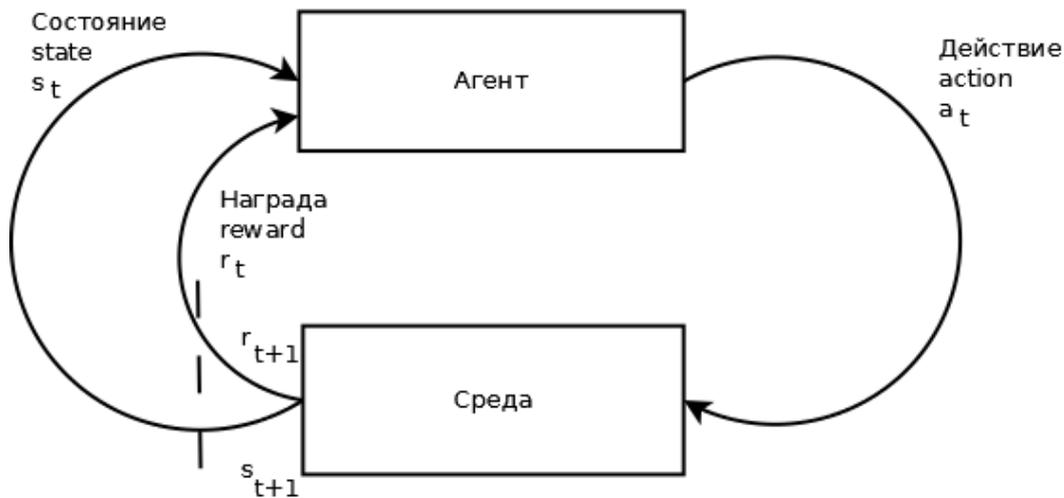


Рис. 3. Схема взаимодействия сущностей обучения с подкреплением

временном интервале параметры всех каналов равны и требуется принять оптимальное решение. График b) демонстрирует ситуацию возникновения «ложного» канала, параметры которого примерно равны приоритетному рабочему каналу. В подобной ситуации возможно использование алгоритмов частотного хоппинга [4], однако количество временных слотов, затраченных на смену канала может существенно отразиться на эффективности системы. Пучок каналов приведенный на графике c) отражает оба вышеописанных прецедента в процессе одной передачи.

Согласно вышеописанным требованиям к решению задачи необходимо определить структуру алгоритма и стратегию его работы основываясь на теории машинного обучения (англ. machine learning). В данном исследовании предлагается использовать обучение с подкреплением (англ. reinforcement learning) в ходе которого система обучается взаимодействия с некой средой (прим. пучком каналов передачи данных). Концептуальная модель обучения с подкреплением состоит из агента, среды и награды. Схема взаимодействия показана на рисунке 3.

Рассмотрим более подробно алгоритм выбора и смены канала с реализацией машинного обучения с подкреплением, его блок-схема отображена на рисунке 4.

Принцип работы алгоритма заключается в циклической работе с пучком каналов на всем протяжении передачи и формированием коэффициентов прогноза для каждого канала (W_k). В определенные моменты времени система принимает решение о необходимости смены канала, которое может быть подкреплено соответствующей наградой согласно теории машинного обучения. В блоках 1, 2 происходит инициализация входных параметров,

задается пучок каналов и случайным образом выбирается начальный канал для передачи данных. Цикл (4) сканирует состояние каждого канала в пучке, для текущего канала формируется вектор успешного занятия слотов. В блоках 5, 6 формируются счетчики и коэффициенты прогноза для «плохого» (b) и хорошего (g) состояний соответственно. Блок 7 формирует отдельный цикл, задача которого на каждой итерации решать вопрос о необходимости смены канала (9) или продолжении работы по текущему каналу (8) основываясь на актуальных коэффициентах прогноза. В случае если алгоритм принял решение о смене канала, некоторое время в цикле (10) проверяется доступность слотов нового канала, и если слоты доступны, то агент получает награду от среды. Если же решение было принято не оптимальное и слоты не доступны или их недостаточно возможно назначение отрицательной награды для дальнейшего обучения системы.

Результаты моделирования

Рассмотрим результаты моделирования алгоритма выбора и смены радиоканала на основе машинного обучения с подкреплением и использованием пучка каналов с динамическими параметрами на входе. Для работы алгоритма использовалась стратегия случайного выбора канала, которая изначально не позволяет однозначно выбрать «лучший» канала, т.к. система не оперирует начальными параметрами каналов в пучке.

Используя первый пучок каналов (рис. 2, а) получим данные о работе системы для двух случаев, когда система работает по одному случайному каналу без когнитивной смены, и непосредственно работу рассматриваемого алгоритма. Результаты работы системы с одним каналом приведены на рисунке 5.

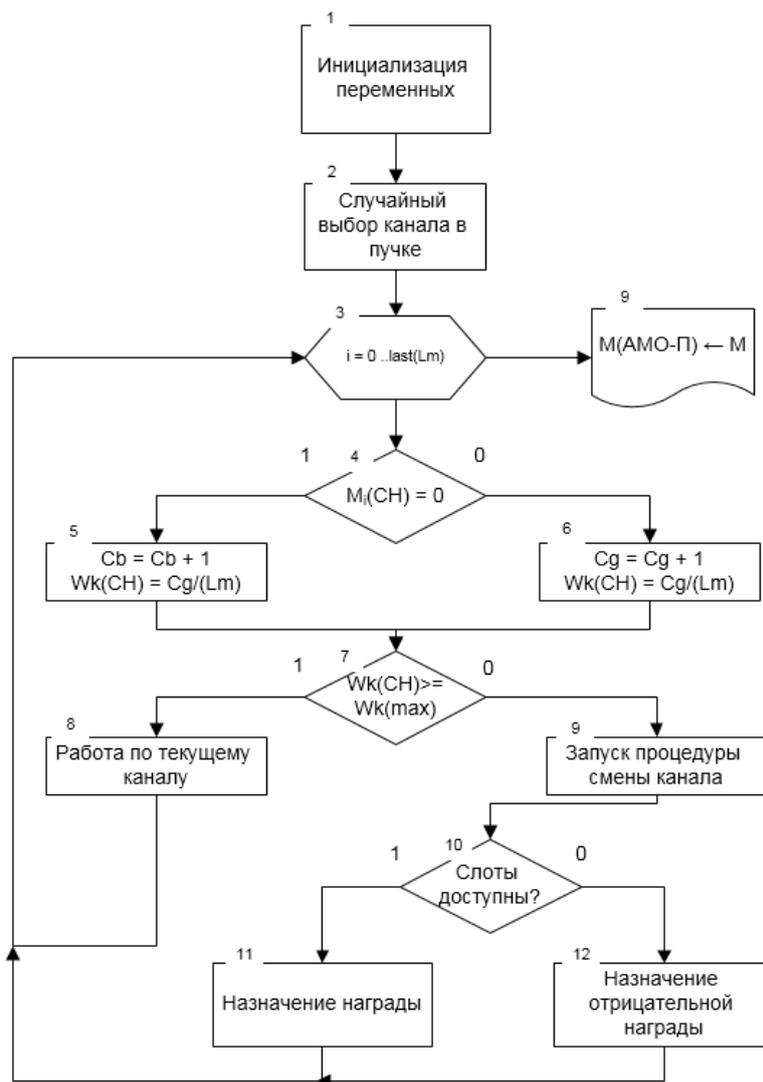


Рис. 4. Блок-схема алгоритма выбора и смены канала на основе машинного обучения с подкреплением

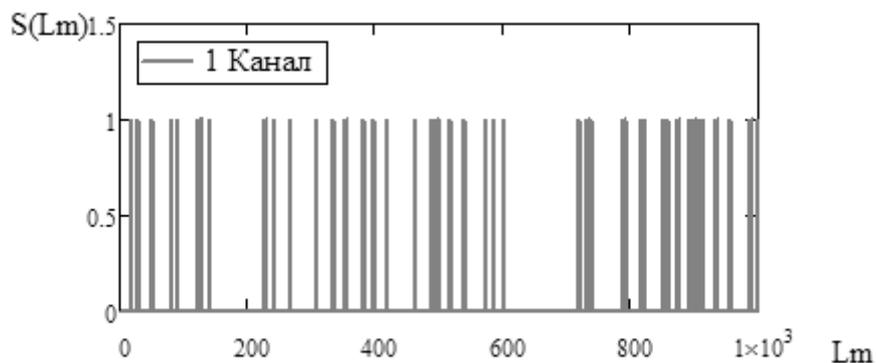


Рис. 5. Использование только одного канала в пучке

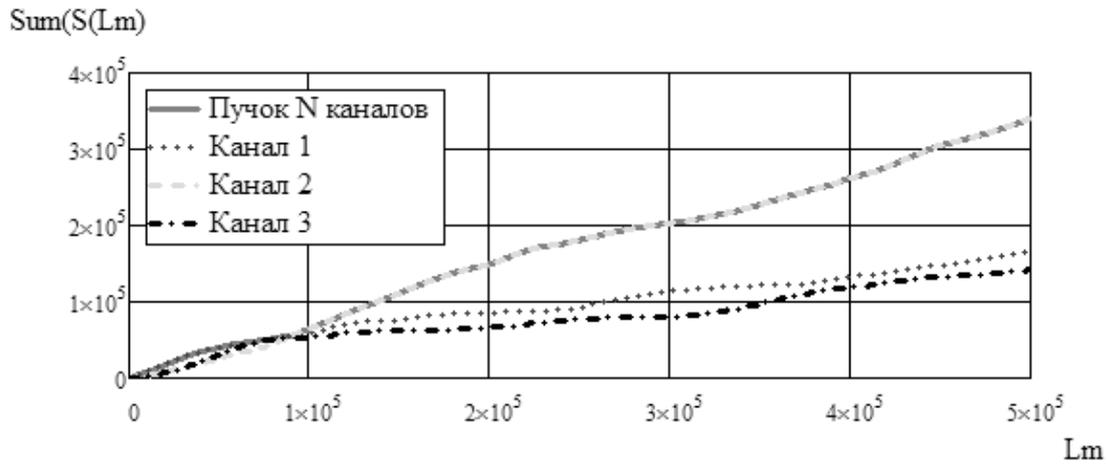


Рис. 6. Использование когнитивной системы с исследуемым алгоритмом (пучок 1)

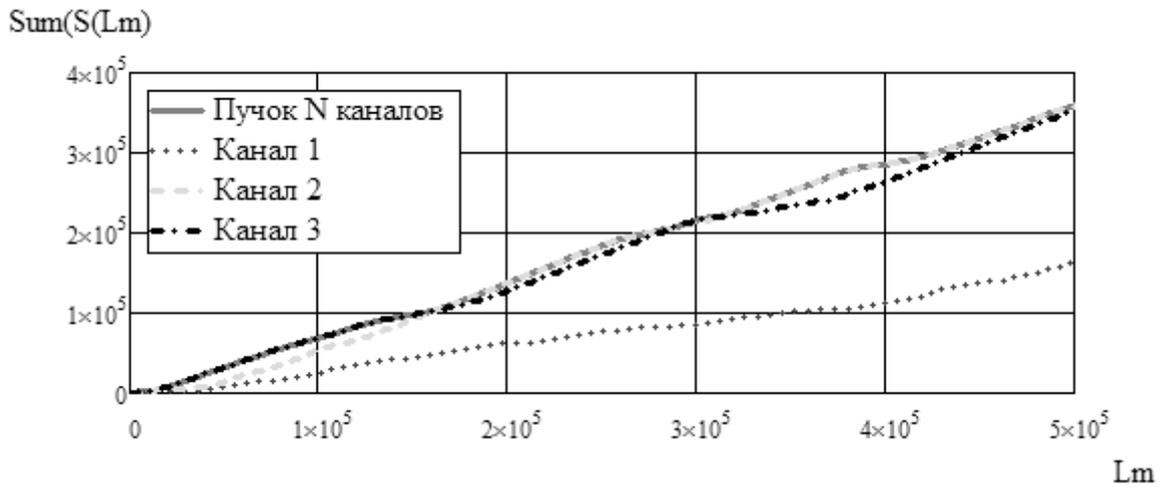


Рис. 7. Использование когнитивной системы с исследуемым алгоритмом (пучок 2)

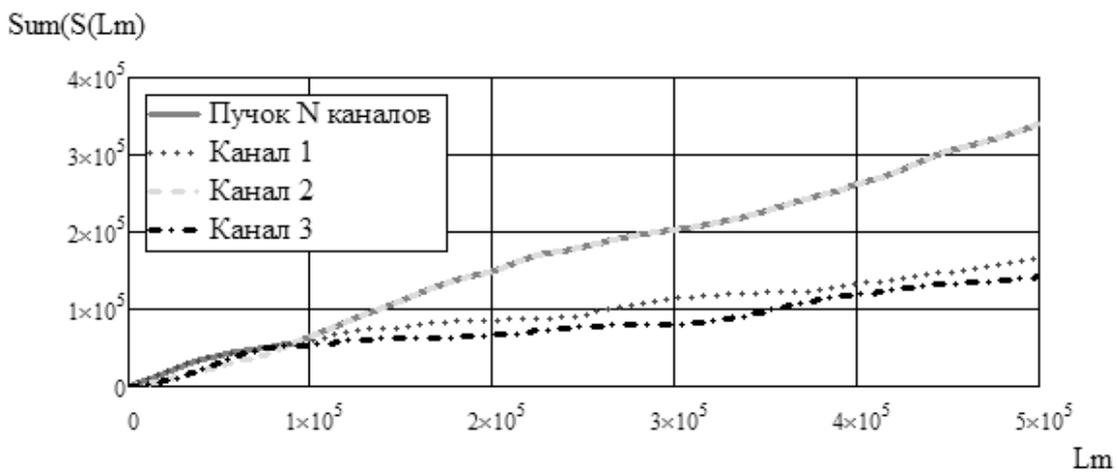


Рис. 8. Использование когнитивной системы с исследуемым алгоритмом (пучок 3)

График показывает состояние занятия слотов S (1 — успешно занят, 0 — пропущен) на начальном интервале, т.к. рабочий канал не меняется достаточно подсчитать количество свободных слотов во всех каналах пучка. Для данного случая: Длина вектора $L_m=500000$; Канал 1: 166459 (33,2%); Канал 2: 340639(68,1%); Канал 3: 141855(28,4%). Исходя из полученных «лучшим» каналом является канал 2, однако такая эффективность будет достигнута если канал будет выбран в начале передачи. С ростом N каналов в пучке вероятность выбора «лучшего» канала будет пропорционально уменьшаться.

Во втором случае получим матрицу значений для алгоритма выбора и смены канала и построим график эффективности использования временных слотов относительно системы с одним каналом для разных случаев (рисунок 6).

Согласно графику, наибольшая эффективность (количество успешно использованных слотов S) была достигнута именно алгоритмом выбора и смены радиоканала за счет использования наиболее перспективных каналов в пучке путем их анализа на протяжении всей

передачи. После смены канала когнитивная система работала по наилучшему каналу, что видно по наложению двух графиков.

Рассмотрим также остальные пучки каналов содержащие другие прецеденты для обучения системы.

Во всех рассмотренных случаях кривая описывающая эффективность работы именно с пучком каналов (когнитивная система) лежит в верхней плоскости указывая на максимально возможную эффективность для данного пучка каналов.

Полученные результаты указывают на жизнеспособность разработанного алгоритма, а применение машинного обучения с подкреплением позволяет применять алгоритм автономно для решения различных прецедентов существующих в пучке каналов с динамическими параметрами. Использование в данной работе динамических каналов позволяет реализовать среду, позволяющую когнитивной системе обучаться непрерывно во время передачи данных и принимать наиболее выгодные решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thomas Charles Clancy III Dynamic spectrum access in cognitive radio networks — Maryland. 2006. — С. 11
2. Стенин А. В. Исследование алгоритмов смены радиочастотного канала в сетях когнитивного радио // Современные проблемы телекоммуникаций: материалы городской научно-технической конференции / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, 23 апр. 2015 г. Новосибирск: СибГУТИ, 2015. С. 571–575.
3. Стенин А. В. Исследование алгоритма адаптации систем когнитивного радио в условиях меняющихся параметров канала // Современные проблемы телекоммуникаций: Рос. науч.-техн. конф.: материалы конф. / Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. Новосибирск: СибГУТИ, 2016. С. 253–258.
4. Мелентьев О. Г. Шевнина И. Е. Оценка эффективности управления хоппингом при передаче по каналам с группирующимися ошибками. Вестник СибГУТИ, 2008, № 2, С. 28–30.
5. Розенблатт, Ф. Принципы нейродинамики: Перцептроны и теория механизмов мозга = Principles of Neurodynamic: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. — М.: Мир, 1965. — 480 с.

© Стенин Александр Владиславович (av.stenin@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»