

В качестве примера в таблице 2 представлена матрица изображения буквы А (значения 1 и -1 вне скобок) и ее фильтр (значения -1 , 0 и 1 в скобках). Жирным шрифтом выделены элементы матрицы изображения, соответствующие главным компонентам.

ТАБЛИЦА 2. Матрица изображения буквы А и фильтр

$-1(-1)$	$-1(-1)$	1(0)	$-1(0)$	$-1(0)$
$-1(0)$	1(0)	$-1(0)$	1(0)	$-1(-1)$
$-1(0)$	1(0)	$-1(0)$	1(0)	$-1(0)$
$-1(-1)$	1(1)	1(0)	1(0)	$-1(0)$
$-1(-1)$	1(0)	$-1(0)$	1(0)	$-1(-1)$
1(1)	$-1(0)$	$-1(0)$	$-1(0)$	1(0)
1(0)	$-1(-1)$	$-1(0)$	$-1(0)$	1(0)

При вычислении взвешенной суммы для каждого нейрона классификатора активизируется только один, достигший максимального порога.

Список используемых источников

1. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Advances in Neural Information Processing Systems 25, 2012, pp. 1106–1114.
2. Convolutional Neural Networks for Visual Recognition, Stanford CS class CS231n. URL: <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/>.

МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В СЕТЯХ КОГНИТИВНОГО РАДИО

А.В. Гушин, В.Л. Литвинов

В статье кратко излагаются принципы работы многопользовательских когнитивных радиосетей. Обозначен круг задач, который предстоит решить при создании радиосистем по данной технологии. В качестве решения задачи распределения ресурсов предлагается использовать алгоритмы из теории устойчивых паросочетаний.

Ключевые слова: когнитивное радио, устойчивые паросочетания, распределение ресурсов, спектральный мониторинг, теория игр.

METHODS OF DISTRIBUTING THE RESOURCES IN THE NETWORKS OF THE COGNITIVE RADIO

Gushchin A., Litvinov V.

In the article the principles of the operation of multi-user cognitive radio networks briefly are presented. Is designated the circle of tasks, which is in prospect to solve with the creation of radio

systems on this technology. As the solution of the allocation problem of resources it is proposed to use algorithms from the theory of stable matching.

Keywords: cognitive radio, stable matching, the distribution of resources, spectral monitoring, the theory of games.

Одна из проблем, которая стоит перед разработчиками радиовещательного оборудования – это проблема перегруженности радиочастотного диапазона. Наибольшая дальность распространения, минимальный эффект Доплера, возможность передачи данных вне зоны прямой видимости – эти и другие требования определяют тот частотный диапазон, который используют технологии, разработанные и стандартизованные еще в шестидесятых годах двадцатого века. Таким образом, становится очевиден повышенный интерес к технологии когнитивного радио. Данная технология позволяет решить проблему перегруженности частотного диапазона за счет повторного использования уже занятых частот устаревшими и менее эффективными средствами беспроводной передачи данных [1].

Когнитивное радио – это радиосистема, которая использует технологии радиосвязи с программируемыми параметрами и другие технологии для автоматического настраивания режима работы для достижения желаемых целей. Такая радиосистема способна накапливать знания об условиях эксплуатации, а также динамической и самостоятельной адаптации своих эксплуатационных параметров к соответствующей среде и может запоминать результаты своих действий и используемые модели для той или иной окружающей среды.

В рамках идеи повторного использования частотного диапазона с применением когнитивного радио, определяют понятия первичного и вторичного пользователя. Первичный пользователь – это приемопередающая радиосистема, которая осуществляет обмен данными в присвоенном ей диапазоне частот. Вторичный пользователь – это приемопередающая радиосистема, которая осуществляет передачу данных в том же диапазоне частот, что и первичный пользователь. Передача данных вторичного пользователя должна осуществляться в «белых пятнах» частотного и временного диапазона таким образом, чтобы первичный пользователь ничего не знал о вторичном пользователе и не испытывал его отрицательного влияния. «Белое пятно» – это область частотного диапазона, в которой нет сигнала первичного пользователя. «Белые пятна» могут быть как постоянными, так и переменными во времени. В зависимости от взаимного расположения первичного и вторичного пользователей «белые пятна» могут существовать для одного вторичного пользователя и отсутствовать для другого.

Для систем когнитивного радио наиболее актуальна задача эффективного (справедливого) распределения частотно-временного ресурса между пользователями сети в зависимости от их потребностей и расположения.

Будем полагать, что используется когнитивная радиосистема с множественным доступом с централизованной архитектурой. Чтобы сформулировать данную задачу, необходимо представить список пользователей I , список каналов H и список предпочтений каждого пользователя относительно доступных

каналов $\succ = (\succ_i)$, где $i \in I$. Следовательно, задача эффективного распределения частотно-временного ресурса между пользователями может быть представлена в виде кортежа $\langle I, H, \succ \rangle$.

Необходимо определить критерии, по которым будет формироваться список предпочтений каждого пользователя канала связи. Самый разумный и распространенный критерий качества канала связи – отношение сигнал/шум (ОСШ). Для каждого пользователя ОСШ при передаче данных в одном и том же «белом пятне» может достаточно сильно отличаться. Это связано с переходной характеристикой канала связи от данного пользователя i ($i \in I$) к базовой станции, есть ли в этом канале замирания и т. д. Вторым критерием является размер «белого пятна» – ширина полосы, которую может использовать пользователь i за доступный ему промежуток времени. Данный критерий определяет наибольший объем информации, который i -й пользователь может передать в данном «белом пятне». Очевидно, что «белые пятна» с большей емкостью будут наиболее предпочтительны. Таким образом, может быть сформирован изначальный список предпочтений \succ_i для i -го пользователя.

Пусть имеет место начальное распределение ресурсов при последовательной инициализации пользователей в сети. Кортеж, описывающий задачу, принимает вид $\langle I, H, \succ, \eta \rangle$, где η – начальное распределение.

К распределению частотно-временных ресурсов в когнитивной радиосистеме между пользователями ($\mu(i)$) должны предъявляться следующие требования [2]:

1) Распределение должно быть индивидуально рационально, т. е. все пользователи должны после распределения получить не хуже чем имели ($\mu(i) \succeq_i h_i$ для всех $i \in I$).

2) Распределение должно быть Парето-эффективным, т. е. не должно существовать такого распределения $\nu(i)$, чтобы $\nu(i) \succeq_i \mu(i)$ для всех $i \in T$ и $(i) \succ_i \mu(i)$ для некоторого $i \in T$.

3) При распределении μ не должно существовать коалиции T – подмножества I и другого распределения ν , такое что:

а) $\nu(i) \in \{h_j\}_{j \in T}$ для всех $i \in T$;

б) $\nu(i) \succeq_i \mu(i)$ для всех $i \in T$;

в) $\nu(i) \succ_i \mu(i)$ хотя бы для одного $i \in T$.

Необходим алгоритм, который бы реализовал распределение ресурсов между пользователя согласно обозначенным выше требованиям. Такой алгоритм предложен в рамках теории игр, а точнее раздела данной дисциплины, который занимается устойчивыми паросочетаниями (*matching*) – это «Алгоритм Циклов Наилучших Продаж Гейла» (*Gale's Top Trading Cycles* (ТТС) [3, 4].

Алгоритм состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Каждый из пользователей сообщает, какой канал он хотел бы занять согласно вершине списка своих предпочтений. Если образуется коалиция, в которой при обмене ресурсами между собой все члены данной коалиции получили бы канал, который соответствовал их наибольшему предпочтению,

то такой обмен следует произвести. Все члены данной коалиции получают свои каналы и не рассматриваются на следующем шаге.

Шаг n . Оставшиеся пользователи сообщают, какой они хотели бы занять канал из оставшихся. Образуется коалиция, в которой пользователи обмениваются между собой своими каналами. Данная коалиция получает свое назначение, и её члены не рассматриваются на следующем шаге. Шаг следует повторять пока остается хотя бы один пользователь без назначения.

На рисунке 1 показано распределение ресурсов согласно алгоритму ТТС для четырех пользователей.

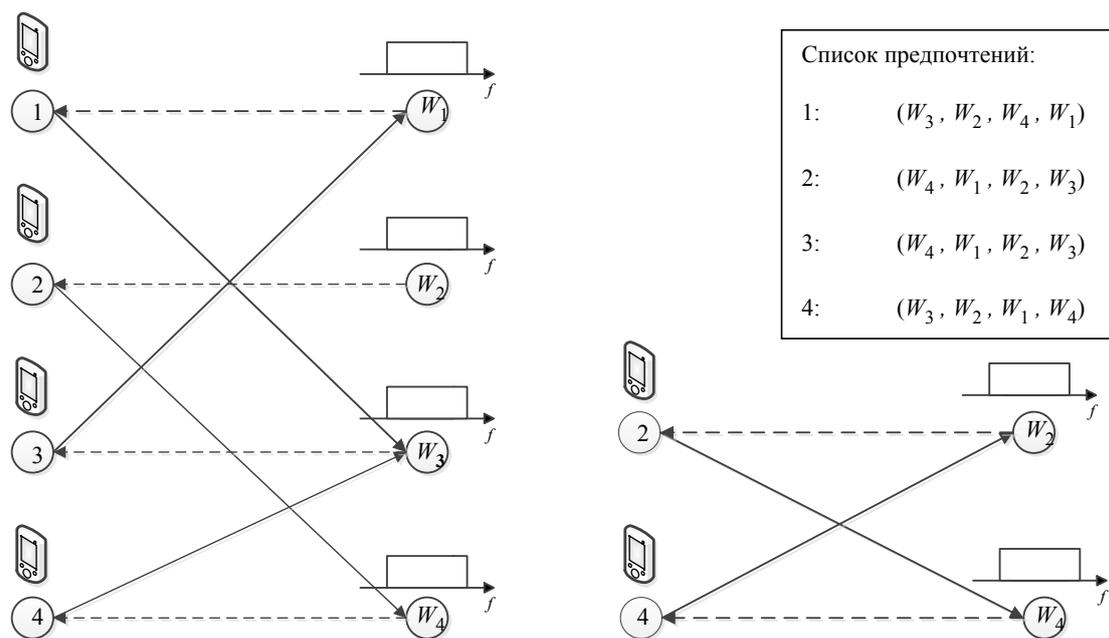


Рис. 1. Пример работы алгоритма Gale's Top Trading Cycles

Как видно из рисунка 1, на первом шаге пользователи 1 и 3 составляют коалицию, которой выгодно обменяться каналами между собой. Происходит назначение пользователям каналов согласно списку их предпочтений, после чего пользователи 1 и 3 больше не рассматриваются. На шаге 2 пользователь 2 хочет канал W_4 , а пользователь 4 – канал W_4 , но данный канал уже назначен и больше не рассматривается. Пользователь 4 рассматривает следующий канал в списке своих предпочтений. Это канал W_2 . Пользователи 2 и 4 обмениваются каналами, и алгоритм завершает работу.

В рамках данной работы в пакете Matlab была промоделирована когнитивная радиосеть со следующими характеристиками:

- централизованная сеть (базовая станция – пользователи);
- восходящий канал передачи данных (Up Link);
- модуляция SC-FDMA QPSK;
- количество каналов: 60;
- поднесущих на канал 28;
- общее количество поднесущих: 2048;

- несущая частота: 282 МГц;
- релейский канал связи.

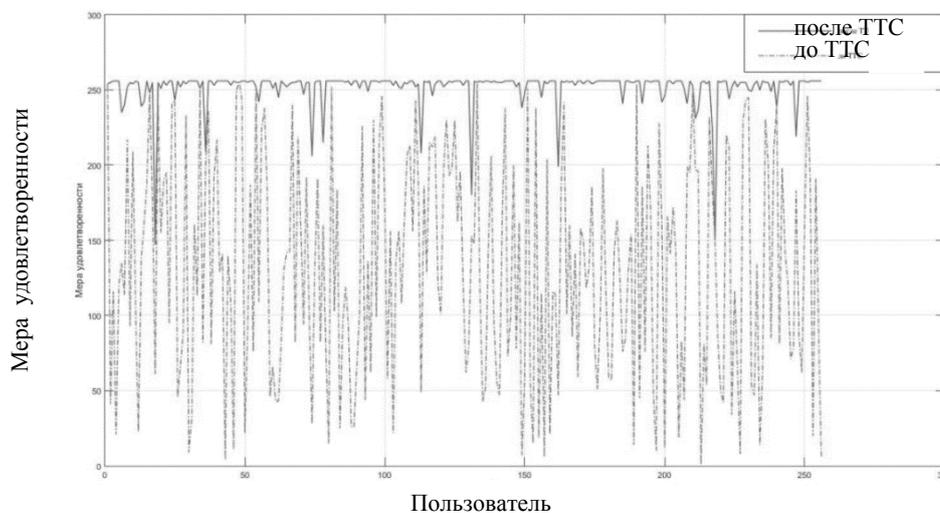


Рис. 2. Результаты моделирования в пакете Matlab

В результате симуляции в пакете Matlab было установлено, что в поставленной задаче требуются модификации алгоритма Gail's TTC (рис. 2). В том случае, если канал, который уже использует вторичный пользователь, будет занят первичным пользователем, он не сможет участвовать в распределении ресурсов. Если же попытаться применить алгоритм Gail's TTC к данной ситуации, то вторичный пользователь в процессе распределения может получить канал «не хуже» чем имел до распределения ресурсов, т. е. занятый канал, который он не сможет использовать. В результате дополнительного анализа было принято решение использовать модифицированный алгоритм, который называется Top Trading Cycles (TTC). Этот алгоритм учитывает ситуацию, в которой пользователь может вступать в распределение без ресурсов, но в такой ситуации не учитывается требование 3 к распределению частотно-временных ресурсов. В остальном данный алгоритм ведет себя так же как Gail's TTC.

Одним из важных достоинств данного алгоритма можно признать его простоту в реализации и небольшие требования к вычислительным мощностям.

Список используемых источников

1. Гушин А. В., Литвинов В. Л. Методы спектрального мониторинга для систем когнитивного радио // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научных статей. СПб.: СПбГУТ. 2015. С. 488–492.
2. Ma J. Strategy-Proofness and the Strict Core in a Market with Indivisibilities // International Journal of Game Theory. 1994. v. 23. PP. 75–83.
3. Gale D., Shapley L. College Admissions and the Stability of Marriage // American Mathematical Monthly. 1969. PP. 9–15.
4. Shapley L., Scarf H. On Cores and Indivisibility // Journal of Mathematical Economics. 1974. v. 1. PP. 23–28.