

**ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ДЛЯ
КОГНИТИВНОЙ РАДИОСВЯЗИ**

**А.А. Кадиров, У.М. Азимов, (ГУП «UNICON.UZ»)
М. Б. Хабибуллаев, Б. Б. Исмаилов (ТУИТ)**

В статье рассмотрена упрощенная методика оценки доступного радиочастотного спектра для работы устройств когнитивной радиосвязи, позволяющая определить доступность свободного радиочастотного спектра в конкретной географической местности.

Мақолада аниқ географик жойда бўш бўлган радиочастоталар спектрдан фойдаланиш мумкунлигини аниқлаш имконини берувчи когнитив радиоалоқа қурилмаларини ишлаш учун мумкун бўлган радиочастоталар спектрини баҳолаш услуги ёритилган.

The assessment method of accessible radio frequency spectrum for working devices of cognitive radio communication is described in this article, which allows to define accessibility of free radio frequency spectrum in concrete geographical area.

В мире происходит стремительное развитие систем радиосвязи и все более остро встает вопрос об эффективности использования радиочастотного спектра (РЧС). Растет перегруженность отдельных полос частот, например, в результате быстро растущего трафика сетей мобильной связи повышается потребность в более широкой полосе частот. На сегодняшний день, основной механизм распределения РЧС основан на лицензировании, которое подразумевает закрепление той или иной полосы частот или номиналов частот за конкретным пользователем. Практически весь частотный диапазон к настоящему времени распределен и лицензирован. Но опыт выявляет недостаточную эффективность подобных механизмов получения доступа к спектру при условиях быстро развивающихся технологий радиосвязи и применений их.

Существенным образом повысить эффективность использования РЧС позволяет механизм динамического управления РЧС. Предварительные результаты исследований, проведенных в рамках МСЭ-R [1,2], показывают, что внедрение технологии радиосвязи с программируемыми параметрами с использованием механизмов когнитивного управления (когнитивное радио) представляет собой один из подходов для обеспечения более эффективного

использования РЧС за счет динамичного и гибкого управления им. Один из примеров такого подхода заключается в том, что вторичным службам или даже пользователям, которым полоса изначально не предназначалась, предоставляется возможность использовать диапазоны первичных пользователей на время, пока этот диапазон не используется первичным пользователем. На сегодняшний день, технически такой подход реализуем путем применения технологии программируемого радио и когнитивного радио.

Системы когнитивного радио (Cognitive Radio System, CRS) используют технологию, позволяющую получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов [4]. Таким образом, CRS ищет свободные полосы и возможность работать, не мешая другим и не нарушая установленные правила использования полос частот.

В данной статье описывается разработанная упрощенная методика оценки доступности РЧС для работы устройств когнитивной радиосвязи, позволяющая определить доступность свободного РЧС в конкретной географической местности в зависимости занятости РЧС первичными пользователями.

В настоящее время, свое практическое применение CRS получают в полосах частот, традиционно распределенных для телевизионного вещания (ТВ). Это обусловлено особенностями частотно-территориального планирования наземных сетей ТВ вещания. Чтобы избежать взаимных радиопомех между радиопередающими станциями, соседним станциям ТВ вещания назначаются различные рабочие полосы частот. Вследствие этого, в сети наземного ТВ вещания, в рамках отдельных территорий образуются незадействованные полосы частот, так называемые «белые пятна». Задача заключается именно в том, чтобы использовать этот частотный ресурс для применений отличных от ТВ вещания, например, для организации беспроводного широкополосного доступа.

Полоса частот 470-790 МГц в Республике Узбекистан распределена радиовещательной службе на первичной основе [3]. Учитывая определения когнитивной радиосвязи и доступного спектра, оценка доступности спектра подразумевает оценку занятости частотного ТВ канала сигналом наземного цифрового ТВ (НЦТВ) в конкретном географическом местоположении. Сигнал НЦТВ рассматривается в качестве полезного сигнала, сигнал от устройства когнитивной радиосвязи для работы в «белых пятнах» (White Space Device, WSD) будет рассматриваться как сигнал вторичной важности или как мешающий сигнал в том случае, если он будет препятствовать приему полезного ТВ сигнала.

Таким образом, чтобы ответить на вопрос какие полосы РЧС можно использовать для работы устройства когнитивной радиосвязи, необходимо

ответить на следующие вопросы:

- где, в каких конкретно местах есть возможность использовать WSD;
- сколько ТВ каналов можно использовать для работы WSD данной конкретной географической точке местности.

Ответ на эти вопросы зависит от технических характеристик как сети НЦТВ, так и когнитивных устройств. С одной стороны, чтобы гарантировать беспомеховую работу системы нужно определить допустимую мощность излучения от когнитивного устройства. В то же время, допустимость работы когнитивного устройства в данном местоположении в данном ТВ канале зависит от мощности излучения этого устройства. В рассматриваемой методике мы будем исходить из того, что существуют WSD с известными значениями мощности излучения, а задача состоит в том, чтобы определить доступность ТВ канала при заданной мощности излучения WSD.

Необходимо учитывать перспективу развития радиовещательной службы, а именно, наземного ТВ вещания в диапазоне 470-790 MHz на будущее. В Узбекистане планомерно осуществляется переход на цифровое ТВ вещание. Разработаны проекты частотно-территориальных планов сети НЦТВ первого, второго и третьего мультиплекса. При внедрении CRS необходимо учитывать, что CRS не должны создавать неприемлемых помех на сети НЦТВ. Следовательно, в первую очередь, необходимо определить действующие и планируемые зоны охвата сети НЦТВ. Основой для этого служат утвержденные и планируемые к утверждению частотно-территориальные планы сети НЦТВ. Аналоговые сети ТВ вещания исключаются из рассмотрения, так как в будущем они будут отключены. Считается, что без отключения аналогового вещания и соответствующего высвобождения цифрового дивиденда, спектральные ресурсы для развития когнитивной радиосвязи значительно ограничены.

Также необходимо учитывать другие первичные службы радиосвязи. Согласно примечанию 134(5.306) Таблица распределения частот Республики Узбекистан, полоса 608-614 MHz также распределена Радиоастрономической службе (РАС) на вторичной основе. Соответственно, 38 ТВК (606-614 MHz) исключается из рассмотрения, так как средства когнитивной радиосвязи могут создавать неприемлемые помехи РАС.

Теоретически, максимально доступный спектр в диапазоне частот 470-790 MHz в отдельном местоположении, достаточно удаленном от зон уверенного приема всех передатчиков НЦТВ и приемников РАС равен:

$$790 - 470 = 320 \text{ MHz или } 40 \text{ ТВК} \cdot 8 = 320 \text{ MHz.}$$

В действительности количество ТВ каналов, потенциально доступных для работы когнитивных устройств изменяются по территории республики в зависимости от взаимного расположения передатчиков НЦТВ, их зон вещания и частотно-территориального плана сети.

WSD не должно создавать помех на прием сигнала НЦТВ относительно приемников, находящихся как внутри, так и на границе зоны уверенного приема передатчиков НЦТВ. Для обеспечения этого, WSD должно работать только в некотором удалении от границы зоны уверенного

приёма передатчика НЦТВ – на определенном защитном расстоянии R_{cr} .

На рисунке представлена примерная зона CRS. CRS может работать только в пределах определенной зоны между передатчиками НЦТВ и только в определенных частотных каналах, не занятых ТВ вещанием. Приведенная схема представляет собой реализацию оппортунистического доступа к спектру, так как доступ основан на определении возможности использования спектра вторичными пользователями.



Оппортунистический доступ когнитивных устройств к «белым пятнам» в спектре ТВ вещания

В упрощенном случае, на основе модели ослабления сигнала в свободном пространстве, защитное расстояние можно вычислить следующим образом:

$$\frac{P_{tv}/R_{tv}^{\alpha}}{P_{cr}/R_{cr}^{\alpha}} \geq \beta_{th}, \quad (1)$$

где: R_{tv} – максимальный радиус зоны уверенного приема ТВ передатчика;

R_{cr} – защитное расстояние;

P_{tv} – мощность излучения ТВ передатчика;

P_{cr} – мощность излучения когнитивного устройства;

β_{th} – порог чувствительности ТВ приемника;

α – экспонента ослабления сигнала.

Далее, получаем:

$$R_{cr} \geq (\beta_{th} \frac{P_{cr}}{P_{tv}})^{1/\alpha} R_{tv} \quad (2)$$

Соответственно, WSD, находящееся на местоположении r может использовать частоту ТВ станции, находящейся на местоположении R_j только при выполнении условия $|r - R_j| \geq R'_j$, где

$$R'_j = R_{tv}^j + R_{cr} = \left[1 + \left(\beta_{th} \frac{P_{cr}}{P_{tv}^j} \right)^{1/\alpha} \right] R_{tv}^j \quad (3)$$

Повторяя эти вычисления для каждого ТВ передатчика, можно определить общее количество ТВ передатчиков, каналы которых могут быть использованы когнитивным устройством, работающим с мощностью излучения P_{cr} на местоположении r .

Общее количество частотных каналов, доступных для оппортунистического доступа $\rho(r, P_{cr})$ получается по следующей формуле:

$$\rho(r, P_{cr}) = \sum_j \sum_m \theta(|r - R_j| - R'_j) \delta_{mj} \quad (4)$$

Здесь $\theta(t)$ – ступенчатая функция (функция включения Хевисайда), определяемая следующим выражением:

$$\theta(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

δ_{mj} – функция, определяемая условием:

$$\delta_{mj} = \begin{cases} 0, & \text{ТВ передатчик на точке } R_j \text{ не использует частоту } f_m \\ 1, & \text{ТВ передатчик на точке } R_j \text{ использует частоту } f_m \end{cases} \quad (6)$$

где j – количество рассматриваемых географических точек;

m – количество рассматриваемых частотных ТВ каналов.

Вычисление $\rho(r, P_{cr})$ по формуле (4) проводится по всем передатчикам НЦТВ и по всем частотным каналам.

В реальности, контуры зоны уверенного приема ТВ передатчика далеки от круговой формы из-за сложной картины распространения радиоволн, вследствие влияния рельефа, растительности, диаграммы направленности передающих антенн, дифракции радиоволн и т.д. Более того, уровень сигнала НЦТВ на месте приема подвержен флуктуациям вследствие воздействия атмосферных явлений и замираний сигнала.

Расчеты по указанной формуле (4) могут быть проведены только программным путем, так как они требуют проведения большого количества вычислений (вычисления для каждой точки R_j , т.е. пикселя географической карты рассматриваемой территории для каждого частотного ТВ канала). Общее количество вычислений прямо пропорционально количеству рассматриваемых географических точек и количеству рассматриваемых частотных ТВ каналов. Количество рассматриваемых ТВ каналов составляет 40. Площадь территории Республики Узбекистан составляет 447400 km². Если расчеты проводить с точностью до 1 km, то общее количество вычислений составит более чем 18 млн. Функции имеющегося программного обеспечения ICS Telesom не позволили провести подобные расчеты. Поэтому проведен поиск возможностей для упрощения формулы или упрощенного применения формулы для отдельных случаев и был найден способ оценки

доступного спектра без необходимости разработки и применения специализированного программного обеспечения.

Мощность излучения передатчиков НЦТВ составляет от 500 W до 5 kW. Мощность излучения абонентских устройств когнитивной радиосвязи составляет порядка 100 mW. Соответственно при рассмотрении абонентских устройств CRS выполняется условие $P_{cr}/P_{tv} \ll 1$ и формула (4) принимает вид $R'_j = R_{tv}^j$, т.е. абонентское устройство CRS может работать сразу за пределами зоны уверенного приема НЦТВ с малой вероятностью создания помех приему НЦТВ.

Выводы. Таким образом можно сделать вывод, что РЧС на территории, находящейся внутри зоны покрытия передатчиков НЦТВ является занятым, а РЧС на территории вне данной зоны покрытия является свободным для когнитивного устройства. Следовательно, для определения доступного спектра для когнитивного радио можно использовать упрощенную методику, заключающейся в анализе зон покрытий передатчиков НЦТВ без проведения дополнительных расчетов защитных расстояний. При этом, следует помнить, что такая упрощенная методика оценки доступности РЧС для работы устройств когнитивной радиосвязи позволяет провести оценку доступного РЧС для абонентских устройств с мощностью излучения порядка 100 mW. Оценка доступного РЧС для базовых станций должна проводиться отдельно путем разработки и применения специализированного программного обеспечения. Все же, полагается, что оценка доступного РЧС для абонентских станций когнитивной радиосвязи позволяет приближенно судить о доступном РЧС для базовых станций.

ЛИТЕРАТУРА.

- [1] Вопросы МСЭ-R 230-3/5 “Software defined radios”.
- [2] Вопросы МСЭ-R 241-2/5 “Cognitive radio systems in the mobile service”.
- [3] Решение ГКРЧ № 1/3 от 25.02.2010 «О частотно-территориальном плане перехода на цифровое наземное телевизионное вещание в Республики Узбекистан на 2010-2015 гг.».».
- [4] Отчет МСЭ-R SM.2152 “Определения системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SDR) и системы когнитивного радио (CRS)”.