

Принятие решения по предоставлению услуги с помощью многофункционального абонентского терминала sdr в когнитивных сетях связи

Ключевые слова: когнитивная сеть, BL(MM) критерий, CRS, LTE, SDR.

Статья посвящается изучению проблемы принятия решений по выбору сети для предоставления услуги в когнитивных сетях связи. Пользователи используют терминалы SDR. В качестве критерия принятия решений используется BL(MM) критерий. Также рассматривается задача оптимизации при выборе сети с учетом стоимости услуги.

Гребешков А.Ю.,

к.т.н., доцент, профессор кафедры автоматической электросвязи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУ-ТИ),
algre@mail.ru

Быстрый рост беспроводных приложений в современных сетях связи стал причиной резкого увеличения нагрузки на ограниченные ресурсы радиочастотного спектра. К настоящему времени практически весь частотный диапазон распределен и лицензирован, что в условиях ограниченности частотного ресурса приводит к его существенному дефициту. Результаты исследований, проведенных в рамках МСЭ (Вопросы МСЭ-R 230-2/8 и 241-1/8) показали, что внедрение технологии радиосвязи с программируемыми параметрами с использованием механизмов когнитивного управления (когнитивное радио) представляет собой один из подходов для обеспечения более эффективного использования радиочастотного спектра за счет динамичного и гибкого управления. Согласно [1], система когнитивного радио (CRS) – это радиосистема, использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установленных правилах и о своем внутреннем состоянии; согласно полученным знаниям и для достижения заранее поставленных целей динамически, автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы; учиться на основе полученных результатов.

В целом когнитивная сеть может динамически изменять свою топологию и/или эксплуатационные параметры в соответствии с требованиями конкретного пользователя, группы пользователей, операторов связи, если это необходимо в рамках текущей политики обслуживания и оптимизации пропускной способности сети. Также возможно самостоятельное определение необходимой конфигурации логических и физических ресурсов на основе распределенного управления сетевыми элементами и терминалам пользователей. В настоящее время происходит изучение функций и возможностей когнитивных сетей в рамках концепции когнитивных радиосистем CRS, предложенных ITU-R WP5A. В состав когнитивных сетей могут войти сети наземной подвижной радиосвязи стандартов 2G/3G/4G, сети беспроводного доступа WiFi, WiMAX, LTE.

При использовании когнитивного радио беспроводные персональные абонентские устройства и связанные с ними сети достаточно разумны в части определения потребностей пользователей в ресурсах в зависимости

от контекста использования терминала. Рассматриваемые персональные абонентские терминалы должны обеспечивать оптимальное использование радиоресурсов и выбор среды предоставления услуг, наиболее подходящие пользователям с точки зрения стоимости и качества услуг. Указанные абонентские терминалы в настоящее время обозначаются как радиоустройства с программируемыми параметрами, SDR. Устройства SDR – это радиопередатчик и/или радиоприемник, использующий технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность, за исключением изменения рабочих параметров, используемых в ходе обычной предварительно определенной работы с предварительными установками радиоустройства, согласно той или иной спецификации или стандарта системы.

Абонентские устройства SDR имеют возможность работы в автоматическом или полуавтоматическом режиме и могут выбирать определенный частотный диапазон (например 900 МГц, 1800 МГц, 2,2 ГГц), стандарт связи (GSM/GPRS/EDGE, UMTS, WiFi, WiMax, LTE), программное приложение для получения доступа к услугам (например для передачи речи используются кодеки ITU-T G.722, G.729, G.722.2, EVRC-WB). Следует отметить, что принципы SDR распространяются также на оборудование базовых станций. В перспективе применение устройств SDR будет способствовать переходу к наиболее современным телекоммуникационным стандартам, таким как LTE. В совокупности, согласно ETSI TR 102 838, когнитивные сети CRS и средства SDR могут рассматриваться как реконфигурируемые радиосистемы, RRS. Поэтому в когнитивных сетях актуальным становится управление конфигурацией используемых программных средств абонентского терминала, узлов и средств связи с учетом стандарта IEEE 1900.4–2009.

Под конфигурацией в данном случае понимаются взаимосвязанные функциональные и физические характеристики телекоммуникационного ресурса, которые установлены требованиями к проектированию, верификации, эксплуатации. Телекоммуникационные ресурсы, согласно Рекомендации МСЭ-T M.3100, по своей природе разделяются на физические и логические. К физическим ресурсам относится оборудование сетей, линий, средств и сооружений связи; к логическим ресурсам относится программное обеспечение, которое применяется в электросвязи. К логическим ресурсам также можно отнести используемое адресное простран-

ство, систему нумерации и идентификации. Контроль и управление конфигурацией есть информационные воздействия на телекоммуникационные ресурсы для определения параметров конфигурации и целенаправленного изменения их значений.

Модель и средства управления конфигурацией когнитивной сети должны учитывать проявления активности управляемых объектов – пользователей в части возможности выбора сети для передачи информации. Поэтому первоочередной является задача определения оптимального поведения абонента. Для этого необходимо провести анализ доступных сетей, с целью определения возможности доступа в сеть для получения услуги с наилучшим качеством и приемлемой ценой/тарифом. В функциональной архитектуре SDR этот процесс реализуется с помощью встроенного менеджера конфигураций (configuration manager) [2], который осуществляет установку/деинсталляцию, загрузку/выгрузку программного обеспечения управления устройством, а также управление параметрами доступа к радиосетям. В более широком контексте менеджер конфигураций может рассматриваться как “интеллектуальный агент” управления. Этот агент является активным программным приложением управления, реализующим в зависимости от режима управления (полностью автоматическое или управления с участием пользователя) функции выбора сети для предоставления требуемой услуги. Задача конфигурирования решается менеджером конфигурации динамически, с адаптацией к окружающей телекоммуникационной среде.

Выбор наилучшего подключения (best connected) к одной из сетей с учетом предпочтений пользователя и всех параметров, описывающих сетевую ситуацию, относится к NP-сложной задаче оптимизации [3]. Рассмотрим некоторые обоснованные предположения (эвристики), которые позволят найти оптимальное или близкое к оптимальному решение в рамках двух процессов оптимизации. Первый процесс включает поиск оптимального решения “за пользователя”. Второй процесс включает поиск оптимального решения “за оператора связи”. Рассмотрим сначала принятие решений по выбору сети в рамках процесса “за пользователя”.

Пусть для предоставления некоторой услуги S пользователю доступны R сетей связи, $R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n\}$,

где $i = \overline{1, n}$ есть номер соответствующей сети [4]. Показатели функционирования каждой сети описывается кортежем $\langle \{P_{Ri}\}, \{Re q_R\} \rangle$, где P_{Ri} представляет собой вектор численных значений размерности k : $P_{Ri} = (P_{Ri}^1, P_{Ri}^2, \dots, P_{Ri}^j, \dots, P_{Ri}^k)$, $P_{Ri}^j \geq 0$, который характеризует значение показателей функционирования сети R_i .

Вектор совокупных требований пользователя $Re q_R$ включает описание требований пользователя к показателям функционирования сети для предоставления услуги S с необходимым качеством. Требования пользователя могут быть заданы в виде граничных значений. Требуется определить, какая сеть связи в наибольшей степени подходит для оказания услуги S в данный момент времени. Рассмотрим далее принятие решения по выбо-

ру сети для предоставления услуги передачи речевой информации на конкретном примере.

Пусть пользователь обладает многофункциональным абонентским устройством с вносимой задержкой менее 50 мс, которое позволяет использовать речевые кадры малой длительности и малое число кадров в каждой дейтаграмме IP. Это устройство может использовать для передачи голосовой информации различные доступные сети связи. Пусть указанному пользователю доступны для передачи голосовой информации три сети связи, $R = \{R_1, R_2, R_3\}$. Для каждой сети связи известны значения задержек при распространении и маршрутизации пакетов информации, которые представлены в виде векторов: $P_{R1} = (40, 90, 340)$, $P_{R2} = (30, 80, 330)$, $P_{R3} = (10, 60, 310)$, все численные значения в мс. Первое из численных значений P_{Ri}^1 в каждом векторе, равное 40 мс, 30 мс и 10 мс, соответствует высокому классу обслуживания. Второе из численных значений P_{Ri}^2 в каждом векторе, равное 90 мс, 80 мс и 60 мс, соответствует среднему классу обслуживания. Третье из численных значений P_{Ri}^3 в каждом векторе, равное 340 мс, 330 мс и 310 мс, соответствует доступному классу обслуживания. Пользователю необходимо высокое качество голосовой связи, что соответствует задержкам “из конца – в конец” не более 250 мс т.е. $Re q_R = (250)$. Требуется проанализировать показатели функционирования доступных пользователю сетей связи и выбрать такую сеть, которая наилучшим образом соответствовала бы требованиям пользователя по задержкам.

В терминах теории принятия решений и теории игр выбор той или иной сети определяется полезностью решения или выигрышем для пользователя. В качестве такой полезности или выигрыша будем рассматривать разность между величиной задержки, требуемой пользователю для предоставления услуги передачи голосовой информации 250 мс и каждым элементом векторов P_{R1}, P_{R2}, P_{R3} соответственно. Положительное значение разности означает наличие выигрыша, т.е. соответствие сети требованиям по задержкам, отрицательное значение разности означает наличие проигрыша. Совокупность возможных выигрышей и проигрышей пользователя сведем в табл. 1.

Таблица 1

	$Re q_R - P_{Ri}^1$	$Re q_R - P_{Ri}^2$	$Re q_R - P_{Ri}^3$
Сеть R_1	210	160	-90
Сеть R_2	220	170	-80
Сеть R_3	240	190	-60

Далее будем рассматривать таблицу 1 как матрицу решений $A = \|a_{ij}\|$ размером $m \times n$, где m – количество строк, n – количество столбцов, элемент a_{ij} соответствует выигрышу пользователя, $i = \overline{1, m}$, для рассматриваемого примера $m=3$; $j = \overline{1, n}$, для рассматриваемого примера $n=3$. Нахождение сети в состоянии, когда пользователь может получить тот или иной выигрыш,

зависящий от класса обслуживания, носит вероятностный характер. Обозначим вероятность состояния сети как $q_j, 0 < q_j < 1, \sum_{j=1}^n q_j = 1, j = \overline{1, n}$. Значения q_j , заранее

неизвестны, поэтому примем, равновероятный случай, где $q_j = 1/n$. На практике для уточнения значений q_j

целесообразно проводить соответствующий мониторинг, измерения и оценки q_j на сети связи, например в соответствии с Рек. МСЭ–Т Q.3911.

Для решения рассматриваемой задачи необходимо определить критерий принятия решения по выбору сети, причем выбор должен осуществляться многократно. Поэтому в качестве критерия принятия решения выбирается BL(MM) критерий. Этот критерий является производным от классического критерия Байеса-Лапласа (BL-критерий) и от расширенного минимаксного критерия (MM-критерий). Достоинством BL(MM) критерия является возможность многократного принятия решений, адаптация к изменяющейся ситуации, учёт возможного риска принятия решения. Недостатком данного критерия является некоторый субъективизм в отношении выбора границ допустимого риска. Этот субъективизм может быть преодолен в результате неоднократно применения критерия. В данном случае под границей риска понимается некоторое значение параметра $\varepsilon_{\text{доп}} > 0$, которое в данном случае характеризует допустимое для пользователя отклонение по вносимой сетью задержке в большую сторону. Пусть в нашем случае $\varepsilon_{\text{доп}} = 50$ мс, что соответствует отклонениям от среднего значения задержки передачи пакетов информации для интерактивного трафика. Теперь рассмотрим применение данного критерия.

Определим опорное значение выигрыша в рамках MM-критерия как Z_{MM} . $Z_{\text{MM}} = \max_i \min_j a_{ij} = a_{i_{\text{opt}}, j_{\text{opt}}}$, (1)

где $i_{\text{opt}}, j_{\text{opt}}$ – оптимизирующие индексы для имеющихся состояний сети. В рассматриваемом примере (см. таблицу 1) $Z_{\text{MM}} = -60$, это минимальный проигрыш пользователя, т.е. наилучший из наихудших вариантов.

Допустимые значения задержек с точки зрения пользователя для каждой из сетей в рамках MM критерия должны соответствовать условию:

$$a_{i_{\text{opt}}, j_{\text{opt}}} - \min_j a_{ij} \leq \varepsilon_{\text{доп}}. \quad (2)$$

Разность в (2) позволяет определить наихудшие показатели функционирования сети по сравнению с $\varepsilon_{\text{доп}}$.

Для матрицы A соответствующие значения разностей по строкам равны 30, 20 и 0 соответственно. Итак, все задержки находятся в рамках сделанного допуска, т.е. показатели функционирования рассматриваемых сетей не хуже ранее сделанного допуска. Далее определим наибольший выигрыш пользователя по сравнению с Z_{MM} , для чего используем следующее условие:

$$\max_j a_{ij} - \max_j a_{i_{\text{opt}}, j} \geq a_{i_{\text{opt}}, j_{\text{opt}}} - \min_j a_{ij}, \quad (3)$$

где $a_{i_{\text{opt}}, j}$ – элементы матрицы A из строки, в которой находится опорное значение выигрыша Z_{MM} , в рассматриваемом примере – это третья строка матрицы A, соответствующая сети R₃. В итоге условию (3) соответствует только строка 3, когда правая и левая части неравенства

(3) равны 0. Для окончательного принятия решения о выборе сети следует учесть коэффициенты q_j , которые с учётом неравенств (2) и (3) позволят сформировать множество допустимых решений A, для которых:

$$A := \{a_{i_{\text{opt}}} \in A \wedge a_{i_{\text{opt}}} = \max_i \sum_{j=1}^n a_{ij} \times q_j\}. \quad (4)$$

С учётом вышеизложенного, дополним матрицу A тремя столбцами и строкой с q_j , в соответствии с формулами (1)–(3) получим табл. 2.

Таблица 2

	$\text{Re } q_R - P_{R_1}^1$	$\text{Re } q_R -$	$\text{Re } q_R -$	$\sum_{j=1}^n a_{ij} \times q_j$	$Z_{\text{MM}} - \min_j$	$\max_j a_{ij}$
R ₁	210	160	-90	93,2	30	-30
R ₂	220	170	-80	103,3	20	-20
R ₃	240	190	-60	123,3	0	0
q _i	0,333	0,333	0,333			

С учётом ранее веденного значения $\varepsilon_{\text{доп}} = 50$, в рамках BL(MM) критерия выбирается сеть R₃. Следует отметить, что если $P_{R_1} = (20, 80, 300)$, $P_{R_3} = (10, 70, 340)$ и P_{R_2} не изменится, то в рамках BL(MM) критерия выбор будет сделан в пользу сети R₁. В случае, если ни одна из сетей не удовлетворяет условиям пользователя, то выбор может быть сделан в пользу решения, наиболее близкого к выполнению условия (3).

Далее рассмотрим поиск оптимального решения “за оператора связи”. Этот поиск осуществляется для управления запросами на предоставление услуг со стороны пользователей с помощью рассмотренного выше метода. Пусть в качестве цели оператора используется получение максимального дохода с учетом физических ограничений пропускной способности узла доступа в сеть [5]. Исходными данными для оптимизационного процесса являются интенсивность запросов услуги в данный момент времени, целевой коэффициент загрузки узла доступа, “вес” т.е. значимость каждого типа услуги/сервиса. В результате оптимизации определяются ограничивающие коэффициенты для каждого типа услуги, которые передаются на терминальное оборудование SDR. Ограничивающие коэффициенты позволяют определить удельную загруженность узла доступа для данного типа услуги. В свою очередь, на терминальном оборудовании ограничивающие коэффициенты позволяют распределить вычислительные ресурсы терминала для различных услуг. Это важно в условиях применения многозадачных операционных систем, когда на устройстве SDR могут быть запущены несколько приложений для оказания услуг, например, предоставление одновременно услуги передачи речевой информации и услуги приема-передачи файлов.

Стратегия поиска оптимального решения оператором связи учитывает т.н. “вес” сервиса j на узле доступа x , $c_{x,j}(t)$, который определяется по формуле:

$$c_{x,j}(t) = \frac{D_j \times v_{x,j}}{\sum_{j=1}^J D_j \times v_{x,j}}, \quad (5)$$

где D_j – стоимость тарифной единицы услуги j в момент времени t ; $v_{x,j}$ – количество тарифных единиц (минут,

килобит), определяющие объём предоставленного сервиса j на узле доступа x в момент времени t .

Для выражения (5) считается, что уровень качества обслуживания соответствует выбору пользователя, рассмотренному ранее на примере в таблицах 1 и 2.

В общем виде задача оптимизации в рамках стратегии “за оператора связи” может быть выражена следующим выражением:

$$\text{Max}_{P_{UD,1,1}^r, \dots, P_{UD,K,J}^r} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J D_j \times \lambda_{k,j}^*(t) \times p_{UD,k,j}^r(t), \quad (6)$$

где $\lambda_{k,j}^*(t)$ – оценочная интенсивность запросов на предоставление услуги j , поступивших от k -го пользователя (k -й группы пользователей) в момент времени t ; $P_{UD,k,j}^r$ – значение ограничивающего коэффициента узла доступа (УД) для сервиса j , который требуется предоставить k -му пользователю (k -й группе пользователей), с возможностью регулярного обновления значения $P_{UD,k,j}$ через промежуток времени r .

Под группой пользователей понимается группа абонентов, объединенных определенным признаком, например одним тарифным планом, одним типом терминальных устройств SDR, группа пользователей народнохозяйственного сектора и группа пользователей индивидуальные пользователи.

В свою очередь,

$$\lambda_{k,j}^*(t) = \frac{\lambda_{UD,k,j}^{HAC}(t)}{P_{UD,k,j}^r(t-T)}, \quad (7)$$

где $\lambda_{UD,k,j}^{HAC}(t)$ – интенсивность начальных запросов на предоставление услуги j от k -го пользователя (k -й группы пользователей) на момент времени t ; $P_{UD,k,j}^r(t-T)$ – значения ограничивающих коэффициентов, установленные в начале текущего периода измерений длительностью T для услуги j и k -го пользователя (k -й группы пользователей).

Для оптимизационной стратегии (6) существуют ограничения. Ограничения для допустимой нагрузки узла доступа имеют вид:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \frac{P_{UD,k,j}^r(t) \times \lambda_{k,j}(t) \times \bar{v}_{UD,j}}{\mu_{UD,j}} \leq P_{UD}^{Max}, \quad (8)$$

где $\bar{v}_{UD,j}$ – средний по времени объём данных, который обрабатывается узлом доступа для предоставления услуги j ; $\mu_{UD,j}$ – средняя интенсивность трафика услуги j ,

обрабатываемого узлом доступа; P_{UD}^{Max} – целевой коэффициент загрузки узла, например 0,8.

По значению ограничивающих коэффициентов имеется ограничение вида:

$$0 \leq p_{UD,k,j}^r(t) \leq 1 \forall k \in \{1 \dots K\}, j \in \{1 \dots J\}. \quad (9)$$

По весовым коэффициентам имеется ограничение:

$$0 \leq \frac{P_{UD,k,j}^r(t)}{P_{UD,k,j}^r(t)} \leq \frac{c_{UD,j}^*}{c_{UD,j}} \forall k \in \{1 \dots K\}. \quad (10)$$

$P_{UD,k,j}^r(t) = \text{Max}(P_{UD,k,1}^r, \dots, P_{UD,k,J}^r)$, $c_{UD,j}^* = \text{Max}(c_{UD,1}, \dots, c_{UD,J})$;
 $P_{UD,k,j}^r(t)$ – максимальное значение загрузки узла для услуги j ;
 $c_{UD,j}^*$ – максимальное значение весового коэффициента услуги j .

Предложенная постановка задачи оптимизации в ходе дальнейших исследований будет уточнена с учетом возможности конкуренции между пользователями за ресурсы выбранной сети доступа и с учетом конкуренции между операторами сетей связи за предоставление услуг пользователю. В итоге предполагается разработка научно обоснованного метода оптимизированного управления доступом (optimal admission control) в когнитивную сеть с использованием оборудования SDR с применением методов теории принятия решений, теории оптимизации и теории игр.

Литература

1. Определения системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SDR) и системы когнитивного радио (CRS) // Отчёт МСЭ-R SM 2152. Серия SM Условия использования спектра. – Электронная публикация. – Женева, 2010. – 3 с.
2. Mueck M., Piipponen, A. ETSI reconfigurable radio systems: status and future directions on software defined radio and cognitive radio standards // IEEE Communications Magazine. – September, 2010. – 78-86 p.
3. Gazis V., Houssos, N. and others. On the complexity of “Always best connected” in 4G mobile networks // Proceeding of 2003 IEEE 58th Vehicular technology conference VTC2003–Fall International Conference on Communications – IEEE. – 2003. – Vol. 4 of 5. – P.2312-2316.
4. Гребешков А.Ю. Метод выбора сети связи для предоставления услуги с использованием многофункционального абонентского устройства // Электросвязь. – №4. – 2011. – С.53-55.
5. Lodge F., Botvich D., Curran T. Using revenue optimization for the maximization of intelligent network performance // Proceedings of the 16th International Teletraffic Congress. – Scotland, 1999. – P.953-965.

DECISION MAKING FOR SERVICE DELIVERING WITH MULTIFUNCTIONAL SUBSCRIBER'S TERMINAL SDR IN COGNITIVE NETWORKS

Grebeshkov A.Y., algre@mail.ru

Abstract: The report is devoted to the problem decision making of the network choose for service delivering in cognitive networks. SDR terminals are used by subscribers. The BL(MM) criteria is used for the decision making process. In addition the problem of decision making with services price optimization are discussed.

Keywords: cognitive network, BL(MM) criteria, CRS, LTE, SDR.