

РАЗРАБОТКА ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОНТОЛОГИИ КОГНИТИВНОЙ СЕТИ ДОСТУПА СТАНДАРТА IEEE 802.22

Гребешков А.Ю.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: grebeshkov-ay@psuti.ru

При реализации управления доступом к каналам когнитивных сетей связи для вторичных пользователей радиочастотного спектра возникает задача анализа разнородных гетерогенных данных. Целью управления на уровне абонентского устройства является определение в реальном времени базовых условий работы вторичного пользователя при условии отсутствия помех работе первичного пользователя. Наиболее распространенным способом решения указанной задачи является императивное формулирование правил использования каналов, хотя этот метод предусматривает обновление хранимых программ управления. В статье предлагается способ использования каналов, основанный на использовании предметно-ориентированной онтологии и логических правил вывода параметров работы и настроек абонентского устройства. Правила учитывают положения стандарта когнитивной связи с использованием «белых пятен» в телевизионном диапазоне частот. Предлагаемый способ позволяет полностью или частично отказаться от обновления хранимых программ путем использования машины логического вывода. Использование предлагаемого метода обеспечивает гибкость в настройках абонентского устройства для работы в когнитивных сетях доступа.

Ключевые слова: когнитивная сеть доступа, предметно-ориентированная онтология, логический вывод, IEEE 802.22, OWL

Введение

При оказании услуг радиодоступа не всегда назначенные для использования на данной территории радиочастоты или диапазоны частот используются постоянно, то есть в каждую последовательную единицу времени. Некоторые частотные диапазоны, например, для организации эфирного телевизионного (ТВ) вещания, неравномерно загружены во времени и пространстве [1-5].

Одним из первых международных стандартов, использующих указанные свойства радиочастотного спектра (РЧС), является IEEE/ISO 802.22, где не занятые в текущий момент времени фрагменты частотно-территориального ресурса в ТВ-диапазоне называют «белыми пятнами» (White Spaces, White Spots) [6-8]. Стандарт IEEE 802.22 включает спецификации канального уровня. Расстояние между оборудованием в помещении клиента CPE (Customer Premises Equipment), то есть абонентским оборудованием, и базовой станцией (БС) согласно IEEE 802.22 может составлять от 25 км до 100 км в зависимости от типа антенны.

Для предотвращения непреднамеренных помех, мешающих работе первичных пользователей РЧС (Primary User, PU), требуется объединение информации об использовании РЧС в связанное множество фактов, выраженных в согласованных понятиях, описывающих элементы проблемной

области. Интеграция данных осуществляется с помощью создания предметно-ориентированной онтологии. Это делает возможным создание алгоритмов обработки данных, учитывающих всю совокупность факторов, влияющих на процесс использования РЧС независимо от программного кода управления CPE. Необходимость такого подхода обусловлена тем, что наперед заданные правила использования когнитивной сети, которые реализованы непосредственно в виде программного алгоритма и кода [9], могут не в полной мере соответствовать быстро изменяющимся условиям радиосреды, требуется постоянное обновление программного обеспечения (ПО) в части методов и технологий выбора радиоканалов.

В этих условиях целесообразно решать проблему организации работы CPE с помощью правил управления изменением конфигурации, принимая во внимание обобщенные данные и знания [10-11] о когнитивных технологиях. Для этого предлагается концептуальная модель радиоэлектронного средства (РЭС) и онтология, которая создается с помощью веб-язык онтологий OWL (Ontology Web Language), используемого для систем, основанных на знаниях.

Общее описание онтологии

Целью разработки предметно-ориентированной онтологии IEEE 802.22 является обеспечение

эффективного взаимодействия между абонентскими устройствами и когнитивной сетью связи на основе использования знаний о проблемной области вне зависимости от методов обработки данных, языков программирования. Цель достигается путем общего концептуального описания предметной области.

Формально предметно-ориентированную онтологию можно определить как упорядоченное множество (кортеж), имеющий вид, в целом аналогичный [11] вида

$$\langle D, Rel, Attr \rangle, \quad (1)$$

где $D, D \neq \emptyset$ – конечное, непустое множество классов, сформированных в результате анализа предметной области, которая описывается разрабатываемой онтологией; Rel – конечное множество, определяющее типы бинарных отношений между объектами классов предметной области; $Attr$ – конечное множество, определяющее типы литеральных (символьных, числовых, логических) свойств, значениями которых могут обладать объекты классов предметной области.

В рамках разрабатываемой онтологии сформулированные понятия и типы отношений будут использованы для формулирования истинных утверждений (аксиом) о конкретных объектах и их отношениях. Моделирование истинных утверждений представляет собой ограничивающее условие, которое, тем не менее, обеспечивает корректное использование понятий предметной области и интерпретацию логических взаимосвязей между объектами, сформулированных при помощи введенных понятий.

Классы D формируются либо с помощью исчерпывающего описания свойств объектов предметной области, позволяющих отнести объект к данному классу, либо класс задается исчерпывающим перечнем объектов, отнесенных к данному классу. Распределение объектов по классам наперед неизвестно.

Далее считается, что

$$D = \bigcup_{i \in Ind^D} D_i, D_i \cap D_j = \emptyset, \quad (2)$$

где $Ind^D = \{1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots, K\}$ – множество индексов; $i \neq j; i, j \in Ind^D$. В случае, если отнесение объекта к определенному классу определяется неотделимыми свойствами такого объекта, а свойства такого объекта измеримы, то можно обоснованно допустить наличие гипотезы H^{Attr} о существовании измеримого свойства, которое в информационной модели можно описать с помощью атрибутов (attributes).

Свойства объектов, входящих в класс, в информационной модели – онтологии можно описать с помощью множества вида

$$Attr = \{attr_i\}, i \in Ind^{Attr}, \quad (3)$$

где $Attr$ – множество атрибутов класса объектов; $Ind^{Attr} = \{1, 2, \dots, i, \dots, L\}$ – множество индексов атрибутов.

Если значения свойств объектов, входящих в определенный класс, измеряемы, то для объектов такого класса существует множество вида

$$\{(ms_i, Smb_i, Rel_i^{Smb})\}, i = 1, \dots, S, \quad (4)$$

где ms_i – измерительная процедура; Smb_i – набор (множество) наперед известных символов, которыми обозначаются единицы измерения; Rel_i^{Smb} – отношения, которые приписывают свойствам объектов классов определенные символы Smb_i , где верно отношение $ms_i : D_i \rightarrow Smb_i$.

Наличие непустого отношения вида $ms_i : D_i \rightarrow Smb_i$ свидетельствует о наличии измерительной процедуры, которая позволяет корректно описать свойство объекта класса, прежде всего с семантической точки зрения; например, частота не может быть быстрой.

Для структурного отношения возможно определить бинарное отношение вида $Rel_i^{Ref} = \{Имя_Отношения\}$ – символы, описывающие структурное (ссылочное) отношение, для которого в языке существует знаковое или лексическое (фразовое) обозначение. Соответственно, исследуемый объект может участвовать в бинарном отношении $\{Имя_Отношения\}$.

Разработка предметно-ориентированной онтологии IEEE 802.22

В качестве первого этапа онтологического анализа выполняется разработка таксономии предметной области, состоящей в использовании «белых пятен» ТВ-диапазона РЧС TVWS (Television White Spaces) для приема-передачи данных в целевой сети. В качестве базового элемента таксономии предлагается классификация статусов каналов TVWS с учетом стандарта IEEE 802.22 на рисунке 1.

Рабочий канал используется для переноса сигнала электросвязи между БС и ММР(СРЕ) в ячейке WRAN IEEE 802.22. Дублирующий канал – это канал, который должен быть немедленно освобожден, чтобы принять на себя функцию рабочего канала. Канал-кандидат представляет собой канал, который может стать дублирующим

каналом. Защищенный канал – это канал, в котором в ходе зондирования обнаружена работа PU. Описание изменения статуса канала в рамках разрабатываемой онтологии приведено в таблице 1.

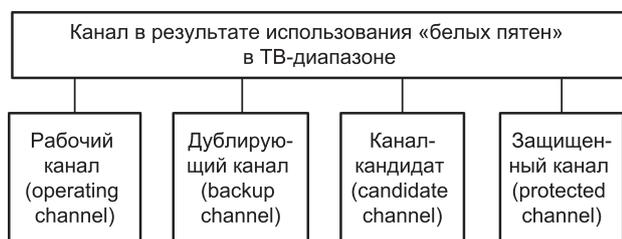


Рисунок 1. когнитивной сети IEEE 802.22

Таблица 1. Изменения статуса канала

Событие \ Статус	Кандидат	Резервный	Рабочий	Защищенный
Обнаружен PU	Защищенный	Защищенный	Защищенный	Защищенный
Не обнаружен PU	Резервный	Состояние не меняется	Состояние не меняется	Состояние не меняется
Освобождение канала	Состояние не меняется	Состояние не меняется	Кандидат	Состояние не меняется
Канал доступен для зондирования	Состояние не меняется	Рабочий	Состояние не меняется	Состояние не меняется

В качестве еще одного элемента таксономии предлагается классификация устройств, способных использовать TVWS на рисунке 2.

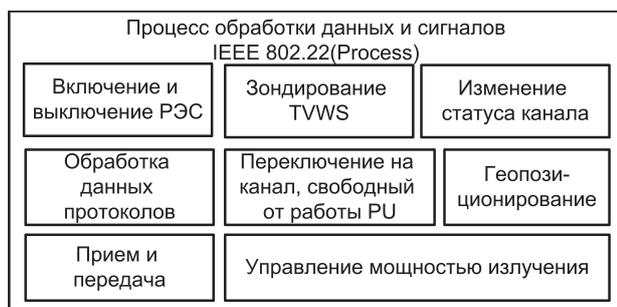


Рисунок 2. Классы и подклассы для описания процесса обработки данных и сигналов сети IEEE 802.22

Фиксированное устройство должно использовать возможности геолокационной базы данных GLDB (Geolocation DataBase) для предотвращения помех устройствам PU с внешней антенной с мощностью излучения до 1 Вт на одном или нескольких каналах В с шириной полосы 6,7 или 8 МГц. Максимальное усиление антенны приемника в горизонтальной плоскости составляет 6 дБи и максимальное значение EIRP базовой станции составляет 4 Вт. Предметно-ориентированная онтология когнитивной сети IEEE 802.22 разрабатывается для устройств CPE и БС IEEE 802.22. Модель класса «Процесс обработки данных и сигналов IEEE 802.22 (Process)» также показана на рисунке 2.

Подклассами класса «Процесс обработки данных и сигналов IEEE 802.22 (Process)» являются следующие:

- включение и выключение РЭС IEEE 802.22 (TurnOn_Off);
- зондирование TVWS (Sensing);
- изменение статуса канала (StatusChannelTransition) в смысле таблицы 1;
- обработка данных протоколов (Protocol_Data_Processing):
- переключение на доступный канал (availableChannelSwitch) в смысле рисунка 1;
- позиционирование (Geolocation) по спутниковым системам или наземным координатам;
- прием и передача (Receive_Transmit) данных;
- управление мощностью излучения (PowerControl) для прекращения излучения в случае обнаружения PU и возобновления работы на доступном канале.



Рис. 3. Классы и подклассы для описания компонент РЭС сети IEEE 802.22

Подклассы класса «Компонент РЭС (DeviceComponent)» показаны на рисунке 3:

- антенна и радио-интерфейс (Antenna RF front-end) для моделирования непосредственного излучения сигнала на физическом уровне;
- передатчик (Transmitter) для моделирования передачи сигнала на физическом и канальном уровне;

- приемник (Receiver) для моделирования приема сигнала на физическом и канальном уровне;
- детектор (Detector) для моделирования выделения сигнала PU на физическом уровне;
- модуль ГЛОНАСС/GPS (Location Detector) для моделирования геопозиционирования;
- блок обработки данных (Data Processing Unit) для моделирования обработки данных физического, канального и сетевого уровня;
- соответствующее обнаружению со стороны CPE начала работы первичного пользователя.

Связи между объектами классов показаны на рисунке 4, где отношения описываются в виде семантических записей, которые характеризуют свойства соответствующих отношений.

Отношение $\{deviceParticipatesInNetwork\}$ указывает, что объекты класса «РЭС IEEE 802.22» могут быть связаны с объектами класса «Сеть IEEE 802.22» отношением, означающим, что устройство участвует в работе сети. Отношение означает, что объект класса «РЭС IEEE 802.22» может быть связан с объектом класса «Сеть IEEE 802.22» отношением, означающим, что устройство участвует в работе сети.

Отношение $\{deviceParticipatesInProcess\}$ означает, что объект класса «РЭС IEEE 802.22»

может быть связан с объектом класса «Процесс обработки данных и сигналов IEEE 802.22 (Network)» отношением, означающим, что устройство участвует в процессе обработки. Также верно, что с помощью отношения $\{channelParticipatesInProcess\}$ показано, что объект класса «Канал» может быть связан с объектом класса «Сеть IEEE 802.22».

Отношение $\{isPartOf\}$ означает, что объект класса «Компонент РЭС» может быть связан с объектом класса «РЭС IEEE 802.22(MMR_CR)» отношением, означающим, что компонент является частью устройства.

Отношение $\{channelUsedByDevice\}$ означает, что объекты класса «РЭС IEEE 802.22» связаны с объектами класса «Канал» отношением, означающим, что устройство использует канал.

Отношение $\{hasStatus\}$ означает, что объекты класса «Канал» связаны с объектами класса «Статус канала» отношением, означающим, что каналу присваивается определенный статус.

Отношение $\{happensOnChannel\}$ означает, что объекты класса «Событие» и его подклассы связаны с классом «Канал» отношением, указывающим, что событие происходит в канале.

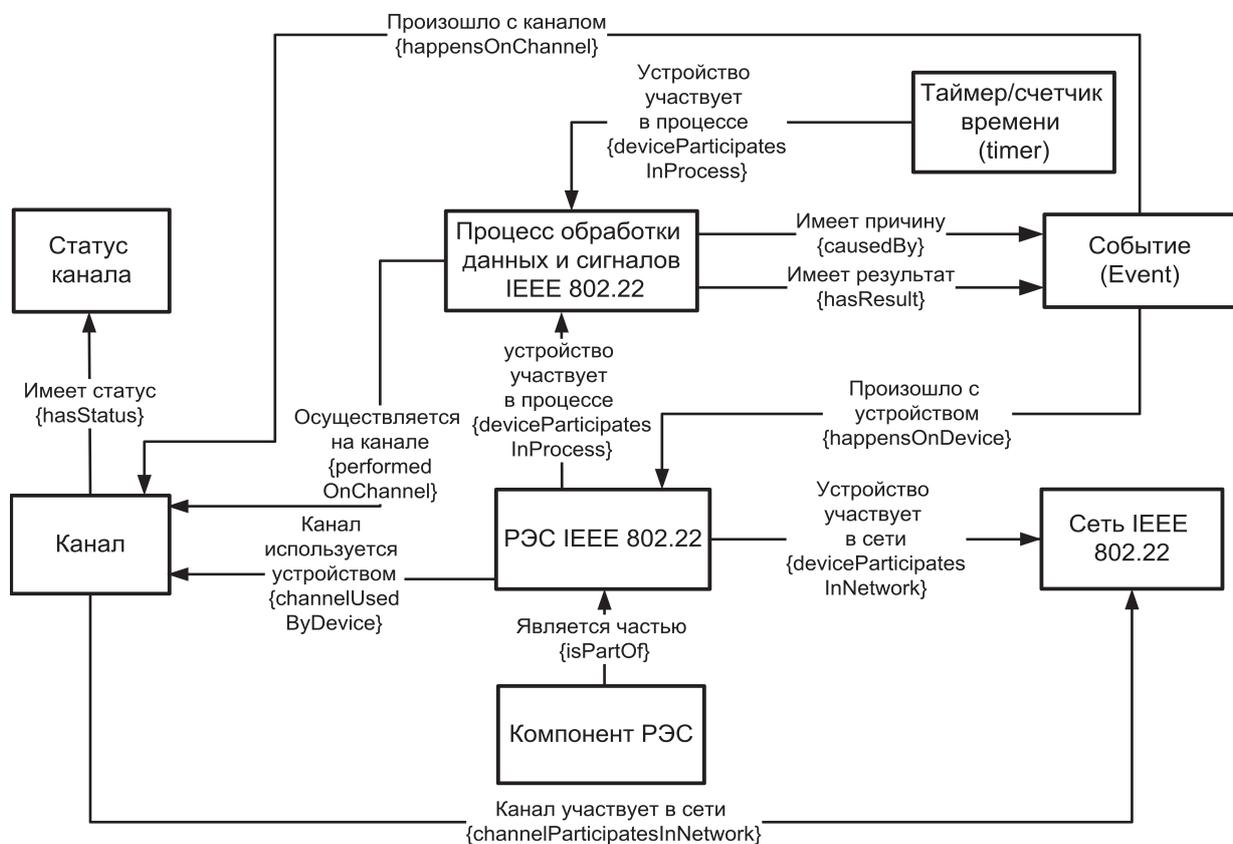


Рис. 4. Отношения между объектами в онтологии сети IEEE 802.22

«Процесс обработки данных и сигналов IEEE 802.22» обладают ссылками на объекты класса «Событие», означающими, что определенное событие является триггером, инициирующим запуск определенного процесса. Аналогично, отношение $\{hasResult\}$ означает, что некоторое событие может являться результатом некоторого процесса.

Отношение $\{performedOnChannel\}$ указывает, что объекты класса «Процесс обработки данных и сигналов IEEE 802.22» воздействуют на атрибуты объектов класса «Канал».

Разработанная предметно-ориентированная онтология, включающая семантическое описание рассмотренных выше классов, отношений и атрибутов с помощью общего языка для моделирования онтологий OWL, представлена в [12].

Модель и правила функционирования абонентского устройства в сети IEEE 802.22

Для использования разработанной онтологии используется информационная модель устройства РЭС IEEE 802.22, представленная на рисунке 5.



Рисунок 5. Модель информационной архитектуры РЭС сети IEEE 802.22

С точки зрения реализации гипотетического устройства, работающего с правилами, его архитектура должна включать:

- хранилище фактов (онтология);
- машина логического вывода (reasoner), которая обрабатывает набор фактов и правила онтологии;
- директивные (императивные) алгоритмы, управляющие работой устройства РЭС IEEE 802.22.

Необходимость использования в архитектуре императивных (директивных) алгоритмов обусловлена тем, что некоторые правила не могут быть реализованы только средствами предметно-ориентированной онтологии и машины логического вывода.

Директивные алгоритмы имеют возможность помещать определенные факты в хранилище фактов (онтологию). Машина логического вывода обрабатывает хранилище и формирует новые

факты (правила), после чего императивные алгоритмы считывают полученные факты (правила). Таким образом логика, реализованная в правилах, управляет работой устройства. Преимущество описанного метода обработки знаний в виде фактов о проблемной области, по сравнению с алгоритмическим управлением, состоит в том, что факты и новые знания могут извлекаться и применяться непосредственно в процессе работы РЭС IEEE 802.22, без остановки на обновление ПО, как это было бы в случае изменения алгоритма. Такой подход позволяет практически в реальном времени адаптировать РЭС к новым условиям работы без существенного обновления базового ПО управления.

В рассматриваемой предметно-ориентированной онтологии в хранилище фактов до начала работы РЭС IEEE 802.22 достаточно создать объекты следующих классов:

- объект класса Таймер (Timer), атрибут «Время» (Time) которого имеет значение, равное текущему сетевому времени; значение этого атрибута автоматически обновляется каждую секунду с одновременным контролем достижения порогового значения таймера;

- объект класса «Сеть IEEE 802.22», представляющий MMR доступ к сети, в которой может функционировать устройство РЭС IEEE 802.22;

- объект(ы) класса «Канал», каждый из которых представляет радиоканал, с которым может взаимодействовать устройство; канал связан с сетью и имеет некоторый статус, из числа описанных выше, а при регистрации новых каналов устройство должно присваивать им начальный статус «Защищенный»;

- объект(ы) класса «Процесс обработки данных и сигналов IEEE 802.22», каждый из которых представляет информацию о последнем процессе, выполненном на определенном канале; для каждого канала должен существовать один объект класса «Процесс обработки данных и сигналов IEEE 802.22», связанный с каналом;

- объект класса «Событие», каждый из которых представляет информацию о последнем событии, происшедшем на определенном канале (в том числе о событиях, являющихся результатом выполнения процесса).

С учетом схемы на рисунке 5 можно предложить следующие правила для логического вывода.

Правило 1. Если технология зондирования соответствует стандарту передачи ТВ-сигнала, то начинается работа РЭС в сети IEEE 802.22.

Правило 2. Если в ходе зондирования устройством РЭС IEEE 802.22 (CPE) или базовой стан-

цией IEEE 802.22 определен факт использования ТВ-канала PU, то канал получает статус «Защищенный».

Правило 3. Канал, получивший статус «Защищенный», становится доступным для нового зондирования не ранее чем через 10 мин.

Правило 4. Канал зондируется каждые 6 с для определения наличия работы PU.

Правило 5. Канал получает статус «Канал-кандидат», если обнаружено отсутствие работы PU (noPUDetection).

Правило 6. При обнаружении работы PU значение счетчика циклов сканирования РЧС на отсутствие работы PU (noPUCounter) = 0; статус канала = «Защищенный».

Правило 7. Канал-кандидат получает статус «Резервный» если зондирование РЭС IEEE 802.22 каждые 6 с выявило отсутствие передачи PU в течение 30 с.

Правило 8. Канал со статусом «Рабочий» зондируется РЭС IEEE 802.22 (CPE) каждые 2 с для обнаружения работы PU.

Правило 9. Если РЭС IEEE 802.22 обнаружил работу PU, то статус канала становится «Защищенный», а РЭС IEEE 802.22(CPE) прекращает работу на данном канале за 2 с.

Несмотря на описанные выше возможности онтологического подхода, они не всегда являются достаточными. Поэтому нижеследующие правила реализуются в виде программного кода, который загружается по протоколу TFTP.

Правило 10. Отсутствие работы PU (noPUDetection) подтверждается с периодом 6с; значение счетчика noPUCounter увеличивается на 1.

Правило 11. Устройство РЭС IEEE 802.22 (CPE) занимает канал со статусом «Резервный».

Правило 12. Статус канала, выбранного РЭС IEEE 802.22 (CPE), становится «Рабочий».

Правило 13. Если выполнено правило 12, то РЭС IEEE 802.22 переключается на канал со статусом «Резервный».

```
Timer(?t), Sensing(?sensing), Channel(?channel), hasStatus(?channel, protected-Channel), performedOnChannel(?sensing, ?channel), Time(?t, ?current_time), Time-End(?sensing, ?end), subtract(?interval, ?current_time, ?end), greaterThan(?interval, 600) -> hasStatus(?channel, availableChannel)
```

Рисунок 6. Пример программной реализации правила 3

Порядок введения в действия правил определяется занятием (освобождением) каналов PU и

требованиями стандарта IEEE 802.22. Исходными положениями (аксиомами) в разрабатываемой онтологии являются следующие.

Устройство РЭС способно работать в сети IEEE 802.22 и способно использовать по крайней мере один метод зондирования РЧС. Устройство РЭС имеет доступ по крайней мере к одному каналу со статусом «Рабочий». Базовая станция IEEE 802.22 имеет в своем списке по крайней мере один канал со статусом «Рабочий», один канал со статусом «Резервный», один канал со статусом «Кандидат» («Канал-кандидат») и один канал со статусом «Защищенный».

Пример программной реализации правила 3 представлен на рисунке 6. Разработанный программный код предметно-ориентированной онтологии доступен в сети Internet [12].

Заключение

Для управления техническими характеристиками РЭС (CPE), обеспечивающими использование различных технологий доступа, предлагается использовать предметно-ориентированную онтологию для создания концептуальной модели и использовать правила, разработанные в рамках онтологии. Использование правил, которые не являются встроенными процедурами непосредственно в программный код управления РЭС (CPE), позволяет повысить гибкость и адаптивность управления без необходимости постоянной модификации хранимых программ управления, что необходимо для обеспечения работы абонентского устройства в гетерогенных сетях.

Для демонстрации возможностей предметно-ориентированной онтологии и создания правил управления создана онтология когнитивной сети связи стандарта IEEE 802.22, предназначенная прежде всего для описания функций и технических характеристик устройств, способных использовать технологии «белых пятен» РЧС. Разработаны правила, описывающие переключения РЭС (CPE) между каналами IEEE 802.22 с учетом влияния пользователей РЧС. Таким образом, ММР может быть адаптировано для работы в сети IEEE 802.22.

Разработанная онтология и правила могут использоваться для организации средств логического вывода о возможности использования РЭС (CPE) доступных сетей для межсистемного вертикального хэндовера (Vertical Handover, VHO).

Автор выражает благодарность генеральному директору компании «Тринидата» (г. Екатеринбург, РФ) Горшкову С.В. за ценные советы и содействие при подготовке материалов для статьи,

личное участие в разработке предметно-ориентированной онтологии.

Литература

1. Гребешков А.Ю. Метод выбора сети связи для предоставления услуги с использованием многофункционального абонентского устройства // *Электросвязь*. – 2011. – №4. – С. 53-55.
2. Гребешков А.Ю. Принятие решения по предоставлению услуги с помощью многофункционального абонентского терминала SDR в когнитивных сетях связи // *T-Comm: Телекоммуникации транспорт*. – 2012. – Т.6. – №7. – С.63–66.
3. Гребешков А.Ю., Зуев А. В. Исследование доступа к каналам передачи в реконфигурируемых когнитивных сетях связи следующего поколения // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. – 2015. – Т.9. – №6. – С. 9-14.
4. Гребешков А.Ю., Зуев А.В. Вертикальный хендовер и когнитивные технологии в гетерогенных беспроводных сетях // *Труды НИИР*. – 2017. – №1. – С. 27-34.
5. Гребешков А.Ю., Зарипова Э.Р., Зуев А.В. Исследование времени переключения абонентского устройства между сетью LTE и когнитивной радиосетью // *Инфокоммуникационные технологии*. – 2018. – Т.16. – №1. – С. 108-116. doi: 10.18469/ikt.2018.16.2.11.
6. Справочник по перспективам внедрения систем когнитивного радио в диапазоне УВЧ в странах участников РСС. Приложение 1 к решению РСС №9/2.3. – Региональное сотрудничество в области связи, 2016. – 93 с.
7. Cordeiro C., Challapali K., Birru D. IEEE 802.22: An Introduction to the first wireless standard based on cognitive radios // *Journal of Communications*. – 2006. – Vol. 1. – Iss. 1. – P. 38-47.
8. ISO/IEC/IEEE International standard 8802.-22:2015. Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MCA) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands. – Geneva: ISO, 2015. – 678 p.
9. Grebeshkov A. Yu., Zuev A.V., Kiporov D.S. Computer simulation of average channel access delay in cognitive radio network // *Distributed computer and communication networks: control, computation, communications. DCCN-2016, CCIS 678*. – Springer International Publishing AG, 2016. – P. 325-336.
10. Lechowicz L.J. Ontology-based reconfigurability of cognitive radio: PhD theses in the field of computer engineering. The Department of Electrical and computer engineering Northeastern University, Boston, 2012. – 174 p.
11. Смирнов С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования // *Известия СамНЦ РАН*. – 2011. – Т.3. – №1. – С. 62-70.
12. Subject-oriented ontology for IEEE 802.22 WRAN ver 1.0 // URL: https://www.researchgate.net/publication/327075775_Subject-oriented_ontology_for_IEEE_80222_WRAN_ver_10 (д.о. 10.08.18). doi: 10.13140/RG.2.2.16894.43849.

Получено 05.09.2018

Гребешков Александр Юрьевич, к.т.н., доцент Кафедры сетей и систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 333-69-25. E-mail: grebeshkov-ay@psuti.ru

DESIGN OF SUBJECT-ORIENTED ONTOLOGY FOR IEEE 802.22 COGNITIVE ACCESS NETWORKS

Grebeshkov A.Y.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: grebeshkov-ay@psuti.ru

There is a problem of heterogeneous data analysis for cognitive communication networks concerning the secondary users spectrum access control. The end goal of the subscriber access control is to assess in real time the basic conditions under which a secondary user would not interfere with the main user of the same spectrum. The most common way to solve this problem is to determine a set of mandatory rules for channel usage, although this method requires updating of the stored control programs. The article proposes an ontological channel usage method that is based on a subject-oriented ontology as well as on

a set of logical rules for deriving user equipment technical parameters. Designed rules are based on the cognitive communication standard defining the usage of TV White Spaces. The proposed method allows to fully or at least partially eliminate the need for updating of stored control programs by utilizing the logical solver engine. The reasoner for an ontology-based control system uses facts to automatically form a set of logic rules for adjusting user equipment settings. The resulting set of facts and rules is then formalized using Web Ontology Language and is then presented to an expert for review and correction. The proposed method contains the information architecture model for the user equipment and provides the flexibility in adjusting the settings for radio equipment operating in cognitive access networks of IEEE 802.22 standard utilizing TV White Spaces.

Keywords: cognitive network, subject-oriented ontology, reasoner, IEEE 802.22, Web Ontology Language

DOI: 10.18469/ikt.2018.16.4.03

Grebeshkov Alexander Yuryevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, L. Tolstoy str., 23, Samara 443010, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Telecommunication Networks and Systems, PhD in Technical Sciences. Tel. +78463336925. E-mail: grebeshkov-ay@psuti.ru

References

1. Grebeshkov A. Yu. Metod vybora seti svyazi dlya predostavleniya usluzhi s ispolzovaniem mnogofunktsionalnogo abinentskogo ustroystva [Networks choice method for telecommunications service delivery with multifunction subscriber device use]. *Electrosvyaz*, 2011, no. 4, pp. 53-55.
2. Grebeshkov A. Yu. Prinyatie resheniya po predostavleniyu usluzhi s pomoshyu mnogofunktsionalnogo abonentskogo terminal SDR v kognitivnykh setyakh svyazi [Decision making for service delivering with multifunctional subscriber's terminal SDR in cognitive networks]. *T-Comm: Telecommunicatsii i transport*, 2012, vol. 6, no.7, pp. 63-66.
3. Grebeshkov A. Yu., Zuev A. V. Issledovanie dostupa k kanalam peredachi rekonfiguriruemyykh kognitivnykh setyakh sleduyushchego pokoleniya [Exploring access procedure to transmission channel in the next generation reconfigurable cognitive networks]. *T-Comm: Telecommunicatsii i transport*, 2015, vol. 9, no.6, pp. 9-14.
4. Grebeshkov A. Yu., Zuev A. V. Vertikalniy handover i kognitivniye tekhnologii v geterogennykh besprovodnykh setyakh [Vertical handover and cognitive technologies for heterogeneous wireless networks]. *Trudy NIIR*, 2017, no.1, pp. 27-34.
5. Grebeshkov A. Yu., Zuev A. V. Issledovaniye vremeni pereklyucheniya abonentskogo ustroystva mezhdru setyu LTE i kognitivnoy radiosetyu [Investigation of user equipment handover time from LTE to cognitive radio network]. *Infokommunikatsionnye tehnologii*, 2018, Vol.16,no.1, pp. 27–34. doi: 10.18469/ikt.2018.16.2.11.
6. Spravochnik po perspektivam vnedreniya system kognitivnogo radio v diapazone UVCH v stranakh uchastnikov RSS. Prilozhinie 1 k resheniyu RSS no. 9/2.3. [A handbook on the prospects for implementing cognitive radio systems in the UHF band in the participants countries of the regional commonwealth in the field of communication]. Annex 1 to the decision of the RCC №9/2.3. Regional commonwealth in the field of communication, 2016. 93 p. (In Russian.)
7. Cordeiro C. Challapali K., D. Birru IEEE 802.22: An Introduction to the first wireless standard based on cognitive radios. *Journal of Communications*, 2006, vol. 1, no. 1, pp.38-47.
8. ISO/IEC/IEEE International standard 8802.-22:2015. Information technology –Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MCA) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands. Geneva: ISO, 2015. 678 p.
9. Grebeshkov A. Yu., Zuev A. V., Kiporov D.S. Computer simulation of average channel access delay in cognitive radio network. *Distributed computer and communication networks: control, computation, communications, DCCN-2016*, CCIS 678. Springer International Publishing AG, 2016. pp. 325-336.
10. Lechowicz L.J. *Ontology-based reconfigurability of cognitive radio*. PhD theses in the field of computer engineering. The Department of Electrical and computer engineering Northeastern University, Boston, 2012. 174 p.
11. Smirnov S.V. Ontologicheskii analiz predmetnukh oblastey modelirovaniya [Ontology analysis of subject-oriented modelling area]. *Izvestiya Smarskogo nauchnogo tzentra RAN*, 2011, no. 1, pp. 62-70.

12. Subject-oriented ontology for IEEE 802.22 WRAN ver 1.0. Available at: https://www.researchgate.net/publication/327075775_Subject-oriented_ontology_for_IEEE_80222_WRAN_ver_10 (accessed 10.08.18). doi: 10.13140/RG.2.2.16894.43849

Received 05.09.2018

УДК 621.391.1:621.395

СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ $E_2/M/1$ С ОБЫЧНЫМИ И СДВИНУТЫМИ ВХОДНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ

Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Ахметшина Э.Г.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

E-mail: tarasov-vn@psuti.ru

В теории массового обслуживания исследования систем $G/M/1$ и $G/G/1$ особо актуальны в связи с тем, что до сих пор не существует решения в конечном виде в общем случае. В данной статье представлены результаты по системам массового обслуживания (СМО) $G/M/1$ и $G/G/1$ соответственно: системы $E_2/M/1$ с эрланговскими и экспоненциальными входными распределениями, а также системы $E_2^-/M^-/1$ с запаздыванием во времени. В качестве входных распределений для системы с запаздыванием выбраны сдвинутое вправо от нулевой точки распределение Эрланга 2-го порядка и также сдвинутое экспоненциальное распределение. Для таких законов распределений классический метод спектрального разложения решения интегрального уравнения Линдли для систем $G/G/1$ позволяет получить решение в замкнутой форме. Показано, что в такой системе с запаздыванием среднее время ожидания требований в очереди меньше, чем в обычной системе. Это связано с тем, что операция сдвига во времени уменьшает величину коэффициентов вариаций интервалов между поступлениями и времени обслуживания, а как известно из теории массового обслуживания, среднее время ожидания требований связано с этими коэффициентами вариаций квадратичной зависимостью. Система $E_2/M/1$ работает только при коэффициенте вариации интервалов поступления, равному $1/\sqrt{2}$ и коэффициенте вариации времени обслуживания, равному 1, а система позволяет работать с коэффициентами вариаций интервалов поступления в диапазоне $(0, 1/\sqrt{2})$ и коэффициентами вариаций времени обслуживания из интервала $(0, 1)$, что расширяет область применения этих систем. Для вывода решений использован классический метод спектрального разложения решения интегрального уравнения Линдли.

Ключевые слова: системы массового обслуживания $E_2/M/1$, $E_2^-/M^-/1$, среднее время ожидания в очереди, метод спектрального разложения, интегральное уравнение Линдли, преобразование Лапласа

Введение

Статья посвящена исследованию систем массового обслуживания (СМО) $E_2/M/1$ с эрланговским входным распределением 2-го порядка и $E_2^-/M^-/1$ с запаздыванием во времени. Первая система относится к типу $G/M/1$, а вторая $G/G/1$. В теории СМО исследования систем $G/G/1$ и $G/M/1$ актуальны в связи с тем, что до сих пор не существует решения в конечном виде для общего случая.

В работе авторов [1] впервые приведены результаты для системы $M/M/1$ с запаздыванием во времени и сдвинутыми экспоненциальными входными распределениями. Показано, что среднее время ожидания требования в очереди в системе $M/M/1$ с запаздыванием во времени меньше, чем в классической системе $M/M/1$ при одинаковом коэффициенте загрузки за счет того, что коэффициенты вариации времен поступления c_λ и обслуживания c_μ становятся меньше единицы при параметре запаздывания $t_0 > 0$.

Результаты [1] совместно с классикой теории СМО [2] позволяют распространить метод спектрального разложения решения интегрального уравнения Линдли (ИУЛ) также на сдвинутое эрланговское распределение.

Метод спектрального разложения решения ИУЛ составляет важную часть теории систем $G/G/1$. Для записи ИУЛ введем следующие обозначения: $W(y)$ – функция распределения вероятностей (ФРВ) времени ожидания требования в очереди; $C(u) = P(\tilde{u} < u)$ – ФРВ случайной величины $\tilde{u} = \tilde{x} - \tilde{t}$; \tilde{x} – случайное время обслуживания требования; \tilde{t} – случайный интервал времени между поступлениями требований. Тогда нужная нам форма уравнения Линдли будет выглядеть как

$$W(y) = \begin{cases} \int_{-\infty}^y W(y-u) dC(u), & y \geq 0; \\ 0, & y < 0. \end{cases}$$