

**ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ОТРАСЛИ СВЯЗИ**

УДК 654 (082), 378.651

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЧС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОАГЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

В.А. ВИШНЯКОВ, П.Ю. ЛАКИЗО

*Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»,  
ул. Ф. Скорины, 8/2, Минск, 220114, Беларусь*

*Поступила в редакцию 19 июля 2019*

Приведено понятие эффективности использования радиочастотного спектра, выделены ее составляющие: техническая, экономическая и социальная. Для оценки эффективности радиочастотного спектра и в дальнейшем для ее информационного управления предложено использование многоагентной технологии. Рассмотрены основные понятия многоагентной технологии: модель, состав, инструментальные средства для разработки мультиагентных систем. Разработана структура многоагентной распределенной системы управления эффективностью радиочастотного спектра, приведено описание ее компонентов.

*Ключевые слова:* радиочастотный спектр, эффективность радиочастотного спектра, многоагентные технологии и системы, структура многоагентной распределенной системы для управления эффективностью радиочастотного спектра

**Введение**

Под эффективностью использования радиочастотного спектра (РЧС) будем понимать совокупность технических, экономических и социальных действий, направленных на максимально возможное обеспечение потребностей государства [1]. На основании этого эффективность разделим на виды: техническая, экономическая и социальная. Право на использование РЧС предоставляется путем выделения полосы радиочастот, радиочастотного канала или радиочастоты и (или) присвоения (назначения) радиочастоты или радиочастотного канала. Решения Государственной комиссии по радиочастотам при Совете Безопасности Республики Беларусь (ГКРЧ) на выделения РЧС следующие: для разработки и модернизации производства радиоэлектронных средств; для их эксплуатации [1]. В связи с тем, что пользователи РЧС – множество станций, необходимо рассмотреть оценку эффективности РЧС с использованием технологии мультиагентов [2].

Для организации процесса распределения задачи в многоагентных системах (МАС) создается либо система распределенного решения проблемы, либо децентрализованный искусственный интеллект. В первом варианте процесс декомпозиции глобальной задачи и обратный процесс композиции найденных решений происходят под управлением некоторого единого центра. При этом МАС проектируется строго сверху вниз, исходя из ролей, определенных для агентов, и результатов разбиения глобальной задачи на подзадачи. В случае использования децентрализованного искусственного интеллекта распределение заданий происходит в процессе взаимодействия агентов и носит больше спонтанный характер.

**Модель и состав МАС**

МАС – сложная система, в которой функционируют два или более интеллектуальных агентов. Процесс самоорганизации в МАС – внутренняя упорядоченность, согласованность, взаимодействие более или менее дифференцированных и автономных агентов агентной системы, обусловленной ее строением. Таким образом, в МАС несколько агентов могут общаться,

передавать друг другу некоторую информацию, взаимодействовать между собой и решать поставленную задачу. В такой системе задачи (или подзадачи) распределены между агентами, каждый из которых рассматривается как член группы или организации [2].

На рис. 1 показана укрупненная структура типичного агента. Входами являются внутренние параметры агента и данные о состоянии среды. Выходы – параметры, воздействующие на среду и информирующие пользователя (или программу, выполняющую роль менеджера в системе) о состоянии среды и принятых решениях. Решатель – процедура принятия решений. Решатель может быть достаточно простым алгоритмом или элементом системы искусственного интеллекта.

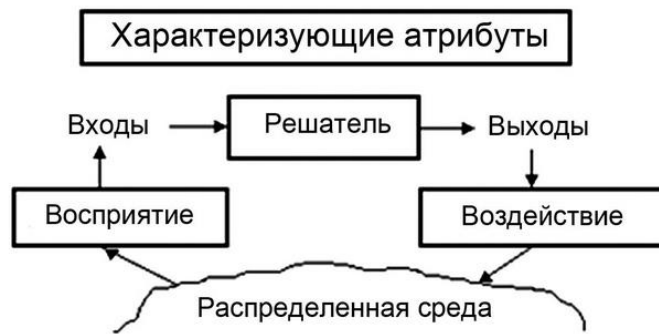


Рис. 1. Укрупненная структура агента

В архитектуре МАС основную часть составляет предметно-независимое ядро, в составе которого выделяются базовые компоненты (рис. 2). Служба прямого доступа обеспечивает непосредственный доступ к атрибутам агентов; служба сообщений отвечает за передачу сообщений между самими агентами, а также между агентами и дополнительными системами ядра. Библиотека классов агентов содержит информацию о классификации агентов в данной МАС. Сообщество агентов – серверная часть, где размещаются агенты. Этот блок, кроме жизнедеятельности агентов, обеспечивает еще функции по загрузке/записи агентов и их свойств и отвечает за оптимизацию работы агентов с ресурсами. Онтология – предметная база знаний, содержащая конкретные знания об объектах и среде функционирования, представляемые в виде соответствующей семантической сети.

Общая методология восходящего эволюционного проектирования МАС может быть представлена цепочкой: {среда – функции МАС – роли агентов – отношения между агентами – базовые структуры МАС – модификации}, и включает следующие этапы: формулирование назначения (цели разработки) МАС; определение основных и вспомогательных функций агентов в МАС; уточнение состава агентов и распределение функций между агентами, выбор архитектуры агентов; выделение базовых взаимосвязей (отношений) между агентами в МАС; определение возможных действий (операций) агентов; анализ реальных текущих или предполагаемых изменений внешней среды [2].



Рис. 2. Модель ядра мультиагентной системы

На данный момент разработано несколько агентных платформ, ориентированных на использование спецификации FIPA. Агентная платформа в стандартах FIPA представляет собой следующую конструкцию (рис. 3) [3].



Рис. 3. FIPA-модель агентной платформы

Система управления агентами (СУА) представляет собой агента, который осуществляет контроль доступа и использования агентной платформы. В каждой агентной платформе присутствует одна СУА, которая предоставляет сервис жизненного цикла программных агентов и их реестр с идентификаторами, а также содержит состояния каждого программного агента. Маршрутизатором каталога является программный агент, который обеспечивает направление запросов в другие агентные платформы. Система транспортировки сообщений, или канал коммуникации агентов, является программным компонентом для управления потоками сообщений с агентной платформой, содержащих также сообщения от/во внешние платформы [3].

#### Методики оценки видов эффективности РЧС

Рассмотрим решения на выделение РЧС для эксплуатации радиоэлектронных средств, которые бывают общими и частными [4]. Частные касаются конкретного пользователя (оператора) РЧС и конкретной технологии. В большинстве случаев при выделении пользователям полос радиочастот планирование использования каналов осуществляется ими самими. Выделим пользователей, имеющих только частные решения ГКРЧ, с учетом разделения по технологиям. Предлагается всех пользователей РЧС разделить на тех, кто получает прямую выгоду от использования ими РЧС, и тех, кто получает косвенную выгоду. Деление по этим группам предлагается осуществлять по следующим образцам: субъекты хозяйствования, которые используют выделенный им спектр для предоставления услуг электросвязи другим субъектам хозяйствования или физическим лицам, отнести к первой группе, а всех остальных – ко второй. Для оценки общей эффективности использования РЧС ( $E$ ) необходимо использовать следующее выражение:

$$E = C1 \cdot ET + C2 \cdot EЭ + C3 \cdot EC, \quad (1)$$

где  $ET$ ,  $EЭ$ ,  $EC$  – техническая, экономическая и социальная эффективности соответственно;  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  – корректирующие коэффициенты для технической, экономической и социальной эффективностей соответственно. Корректирующие коэффициенты необходимо использовать для того, чтобы учитывать значимость той или иной эффективности, а также ее отсутствие. Так, если значимость каждой из эффективностей равноценна, то  $C1 = C2 = C3$ . В случае, когда та или иная эффективность отсутствует, необходимо выбирать корректирующий коэффициент, равный нулю. Общая сумма корректирующих коэффициентов  $C1 + C2 + C3 = 1$ .

Техническая эффективность РЧС. Согласно Рекомендациям Международного Союза Электросвязи [4, 5] для оценки технической эффективности должен использоваться подход «полоса – пространство – время». Оценка использования спектра  $hT$  в этом случае должна

определяться как отношение количества информации  $M$ , переданной по каналу, к величине использования спектра  $U = Df \cdot S \cdot t$ , где  $Df$  – ширина полосы частот,  $S$  – площадь зоны охвата,  $t$  – время работы. Однако этот подход позволяет получить увеличение величины  $hT$  за счет уменьшения ширины полосы частот, площади зоны охвата и времени работы, что на самом деле ухудшает техническую эффективность. Поэтому использование этого подхода не является целесообразным.

Отметим, что при выдаче лицензии оператору, предоставляющему ту или иную услугу, оговаривается территория, на которой она будет предоставляться. Каждому оператору выдается разрешение на работу в некоторой полосе частот, то есть задается  $Df$ . Для оценки систем теле- и радиовещания в качестве критерия предлагается использовать такой параметр, как среднее число каналов вещания. Среднее число каналов необходимо проводить за время  $t$ , равное одним суткам (24 часа). Тогда величину  $hT$  можно определить по следующей формуле:

$$hT = tk \cdot nk / t. \quad (2)$$

Необходимо отметить, что в (2) величина  $nk$  – число телевизионных или радиовещательных каналов, вещающих время  $tk \leq t$ .

Рассмотрим критерии оценки для систем передачи данных. Конечным результатом любого эффективного использования РЧС будет являться большее количество абонентов, приходящихся на выделенную полосу радиочастот. В свою очередь, данное утверждение достигается двумя способами: количественно – путем увеличения площади покрытия сетью оператора; качественно – путем уменьшения радиуса соты, а следовательно, путем увеличения коэффициента повторного использования радиочастот. Введем понятие «коэффициент покрытия сетью оператора», определяемый как:

$$C1 = S_{\text{покр}} / SPБ,$$

где  $S_{\text{покр}}$  – площадь покрытия сетью оператора;  $SPБ$  – площадь Республики Беларусь.

Данный критерий будет давать количественную оценку эффективности использования РЧС. Наиболее сложными в плане оценки эффективности использования РЧС на сегодняшний момент являются технологии подвижной радиосвязи, использующие кластерное построение сетей [5]. Совокупность близлежащих сот, в которых невозможно использовать одни и те же частотные каналы из-за взаимных помех, называется кластером, а число сот, входящих в кластер, называется размерностью кластера. Размерность кластера является наиважнейшей и необходимой величиной для частотно-территориального планирования сетей сотовой подвижной связи. Данное понятие напрямую связано с еще одним – коэффициентом повторного использования радиочастот. Под коэффициентом повторного использования радиочастот будем понимать следующее соотношение:

$$K = N_{\text{испол}} / N_{\text{выдел}},$$

где  $N_{\text{испол}}$  – количество используемых радиочастотных каналов на всей площади покрытия сетью оператора конкретной технологии;  $N_{\text{выдел}}$  – количество выделенных радиочастотных каналов на основании решения ГКРЧ.

Экономическая эффективность РЧС. Можно выделить следующие субъекты, заинтересованные в повышении эффективности использования РЧС и связанные с использованием РЧС: государство, орган управления, пользователи, потребители услуг. Экономическая эффективность использования РЧС для государства выражается в следующем: чем больше прямая и косвенная отдача, тем эффективнее используется РЧС. Прямая отдача от РЧС предполагает разовые и ежегодные платежи от использования РЧС. Косвенная предполагает рост налоговых поступлений, рост валового внутреннего продукта (ВВП) и занятости. Чем больше выдано разрешений (назначений) и меньше расходы на управление, тем эффективнее работает вся система управления РЧС. Эффективность для пользователей выражается в

следующем: чем больше он сможет предоставить услуг потребителям и чем выше будет их качество, чем меньше будут инвестиционные и текущие расходы, тем эффективнее он использует РЧС.

Социальная эффективность РЧС. Эффективность использования РЧС с точки зрения потребителей услуг – социальная эффективность, которая может выражаться в компонентах: соотношение цена/качество; надежность и бесперебойность услуг; разнообразие услуг. Для определения социальной эффективности в качестве измерителя может рассматриваться интегральная оценка данного показателя, полученная с применением техник аналитической иерархической процедуры, Применительно к операторам, использующим РЧС, социальная эффективность функционирования может быть оценена для ключевых социокультурных групп: для пользователей услуг; для работников оператора; для внешнего окружения, т. е. общества, государства и т. д. Единых показателей оценки социальной эффективности нет, она может быть оценена в соответствии с теоретически обоснованными измерениями, которые при каждом исследовании остаются постоянными: социальная необходимость –  $C_n$ , социальная полезность –  $C_p$ , социальная привлекательность –  $C_r$ , учетом коэффициентов:

$$C3 = K1 \cdot C_n + K2 \cdot C_p + K3 \cdot C_r.$$

### Структура MAC для оценки эффективности РЧС

Для решения поставленной задачи система использует знания, представленные в виде онтологии, под которой понимается упорядоченное множество понятий предметной области. Для реализации проекта предлагается следующий состав агентов системы управления эффективностью РЧС:

- агенты интерфейсные (пользователей и станций) обеспечивают интеллектуальное взаимодействие со станциями, поддерживают процесс формулирования запросов и представляют результаты решений в виде списка URL или Web-страниц;
- агенты баз данных и знаний получают информацию от интерфейсных агентов, формируют записи в хранилище для агентов расчета видов эффективности РЧС;
- агенты-брокеры двух типов: брокер типа URL предназначен для формирования списков интернет-адресов, поставляемых браузером (специальная клиентская программа, предназначенная для просмотра Web-узлов); брокер типа HTML выполняет функции запоминания полученных Web-страниц и их распределения между агентами расчета;
- интернет-агент (агент сети) обеспечивает считывание и анализ заданной страницы URL или Web-страницы (URL – автономная Java-программа с собственным сетевым адресом), выполняет обработку исключительных ситуаций (страница недоступна);
- агенты расчета значений трех типов эффективности РЧС, считывают информацию из хранилища, преобразуют HTML-текст к представлению, с которым работают математические анализаторы.

Результат обработки внесенных значений представляется в виде конкретного числового значения соответствующему фрагменту используемой онтологии.

Каждый из агентов наделен специальными знаниями, которые используются для повышения эффективности анализа расчетной информации. Агенты способны взаимодействовать друг с другом, обмениваться информацией, контактировать с Web-браузерами, анализаторами естественного языка и онтологическими базами данных.

### Заключение

1. Под эффективностью использования РЧС будем понимать совокупность технических, экономических и социальных действий, направленных на максимально возможное обеспечение потребностей государства, поэтому разделим ее на виды: техническая, экономическая и социальная. Определены составляющие каждой из трех разновидностей эффективности РЧС.

2. В связи с тем, что пользователи РЧС – множество станций, распределенных по территории республики и другие потребители (агенты), предложено оценивать эффективность

РЧС с использованием технологии мультиагентов. Рассмотрены основные понятия этой технологии: модель, состав, инструментальные средства для разработки мультиагентных систем.

3. Представлена структура MAC управления эффективностью РЧС, включающая следующих агентов: интерфейсные хранилища (базы данных и знаний), брокеры (управления), работа в интернете, расчет значений трех типов эффективности РЧС.

## INFORMATION ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF RADIO FREQUENCY SPECTRUM USING MULTI-AGENT TECHNOLOGY

U.A. VISHNIAKOU, P.Yu. LAKISO

### Abstract

The concept of the efficiency of the radio frequency spectrum (RFS) use is done. Its components: technical, economic and social are highlighted. The use of multi-agent technology (MAT) is proposed to evaluate the effectiveness of the RFS and in the future for its information management. The basic concepts of MAT: model, composition, tools for the development of multi-agent system s is discussed. The structure of the multi-agent distributed system (MAC) of management of efficiency of RFS is developed, the description of its components is given.

### Список литературы

1. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем : учеб. пособие / под ред. М. А. Быховского. – М. : Эко-Трендз, 2006. – 342 с.
2. Многоагентные системы (обзор) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.raai.org/library/ainews>. – Дата доступа : 12.07.2019.
3. Ватсон, Б. Мультиагентные системы на примерах / Б. Ватсон. – СПб. : БХВ – Санкт-Петербург, 2011. – 608 с.
4. Нарукавников, А. В. Разработка методического аппарата оценки возмещения использования радиочастотного спектра как ограниченного природного ресурса : автореферат дис. ... канд. экон. наук. :08.00.05 / А. В. Нарукавников.– М., 2012. – 17 с.
5. Вишняков, В. А. Анализ оценок эффективности использования РЧС и концепция ее информационного управления / В. А. Вишняков, А. В. Табаньков // Системный анализ и прикладная информатика. – 2014. – № 1–3. – С. 28–32.