Модель системы управления параметрами линии радиосвязи на основе нечеткой логики

Model of radio communication link parameters control system based on fuzzy logic

Сорокин / Sorokin K.
Константин Николаевич
(vas-nic@yandex.ru)
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного»,
старший научный сотрудник
научно-исследовательского центра.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: когнитивная радиосистема – cognitive radio system; нечеткая логика – fuzzy logic; радиочастотный спектр – radio frequency spectrum; радиоэлектронная обстановка – radiofrequency environment; интеллектуализация управления – control intellectualization; эффективность – efficiency.

В статье представлена обобщенная модель когнитивной радиосистемы и структурная модель системы управления на основе нечеткой логики. На основе задаваемых требований выбраны входные данные и управляемые параметры, описан принцип принятия обобщенного решения на реконфигурацию системы. Применение искусственного интеллекта в системах управления позволит повысить эффективность функционирования сетями радиосвязи в сложной помеховой обстановке.

The article presents a generalized model of cognitive radio system and structural model of control system based on fuzzy logic. Based on the specified requirements, input data and controlled parameters have been selected, the principle of generalized solution for the system reconfiguration has been described. Application of artificial intelligence in control systems will improve the efficiency of radio communication networks in demanding interference environment.

Введение

Современный переход от постиндустриального общества к обществу знаний предполагает насыщение всех сфер деятельности человека системами с искусственным интеллектом и системами предоставления знаний [1]. Акцент на возможности непрерывного и повсеместного доступа к данным, информации и знаниям предполагает все большее распространение беспроводных сетей. Данное обстоятельство ведет к повышению спроса на радиочастотный спектр, возникают проблемы обеспечения информационного обмена с требуемым качеством в условиях сложной, динамически изменяющейся радиоэлектронной обстановки.

Одним из способов повышения эффективности функционирования систем радиосвязи является реализация интеллектуального управления параметрами, что реализуется в рамках концепции когнитивного радио. Особенностью CRS является применение элементов искусственного интеллекта, что позволяет анализировать окружающую обстановку, состояние самой радиосистемы и изменять свои эксплуатационные параметры в соответствии с целевыми установками и обучаться на основе полученного опыта [2].

Основой когнитивного радио является система управления, выполняющая функции анализа обстановки, состояния формируемого канала связи и управляющая эксплуатационными параметрами радиосистемы.

Модель системы управления когнитивного радио

Для реализации когнитивных функций применяются различные подходы. В последнее время большее распространение получили способы реализации искусственного интеллекта, основанные на применении нейронных сетей и нечеткой логики. Преимуществами нечеткой логики [3] является простота описания правил формирования заключений, возможность обучения за счет коррекции функций принадлежности и базы правил.

Обобщенная структурная модель когнитивной радиосистемы, построенной на основе нечеткой логики, представлена на рис. 1. Элементом системы, осуществляющим обработку входных данных и формирующим решения, является контроллер нечеткой логики, структурная схема которого представлена на рис. 2.

Цель управления – обеспечение соответствия пропускной способности предоставляемого канала связи интенсивности поступающего от абонента трафика при соблюдении требований к качеству связи (по достоверности) [4].

Управляемыми параметрами в общем случае являются: рабочая частота, мощность передатчика, применяемая сигнально-кодовая конструкция. Данное решение основано на учете неоднородности помеховой обстановки

4 2018.indd 39 15.12.2018 15:54

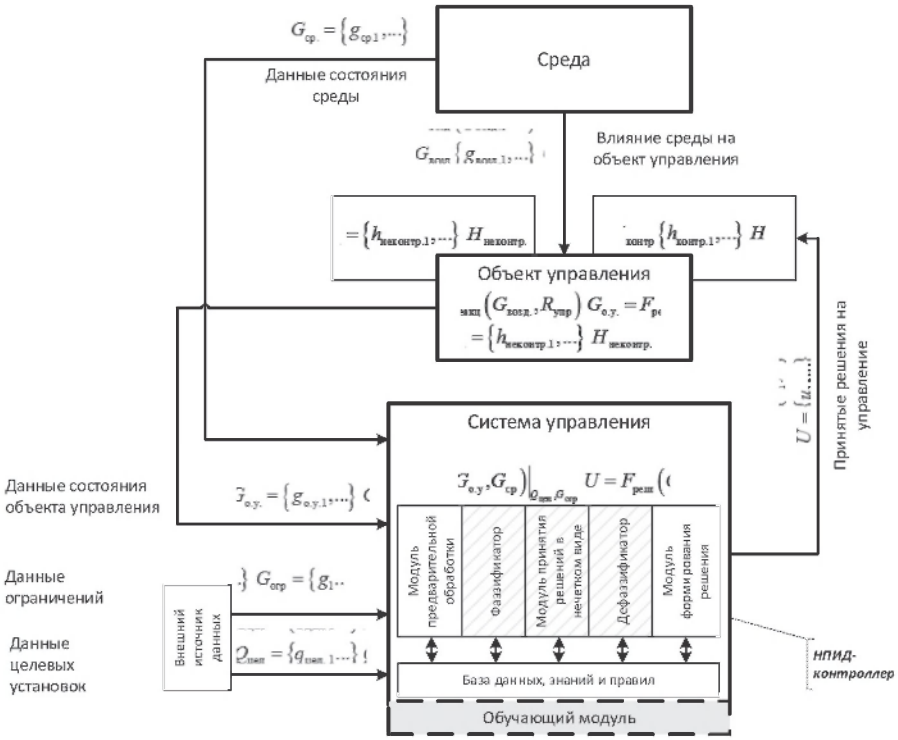

Рис. 1. Обобщенная структурная модель когнитивной радиосистемы на основе нечеткой логики

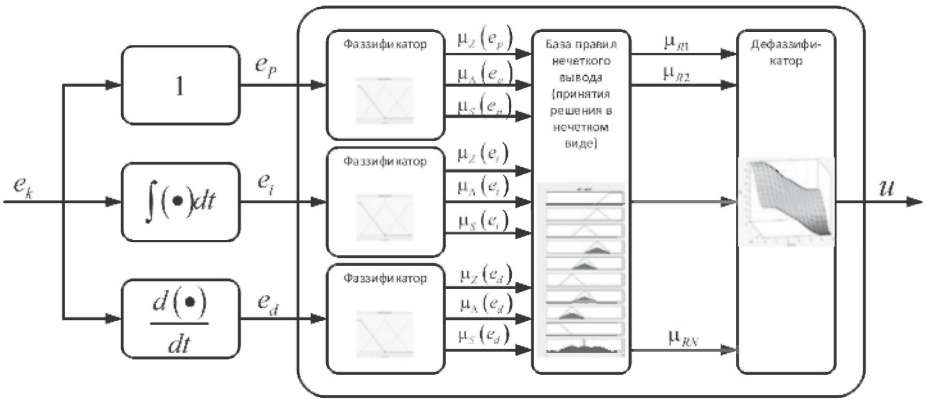

Рис. 2. Обобщенная структурная схема пропорционально- дифференциально- интегрального контроллера нечеткой логики (НПИД)

на различных частотах, зависимости мощности сигнала на входе приемника от частотного диапазона и характеристик среды распространения, пропускной способности канала связи от применяемой сигнально-кодовой конструкции и т.д. [5–7].

Предполагается, что рабочая частота радиосистемы лежит в пределах диапазона выделенных частот $f_n \subset \{f_1,..f_F\}$. Мощность передатчика ограничена диапазоном $P_{прд} \subset [P_{\min}; P_{\max}]$, управление осуществляется непрерывно. Применяемые сигнально-кодовые конструкции (СКК) описываются множеством $Sg = \{Sg_1,..Sg_S\}$. Сортировка СКК – в порядке возрастания обеспечиваемой информационной скорости. Каждому элементу множества сопоставлены:

– отношение сигнал/шум, при котором выполняется требование по достоверности передачи (γ_s);

– обеспечиваемая информационная скорость формируемого канала/линии связи (C_s), чем выше индекс – тем выше скорость.

При этом предполагается, что линия, развертываемая между подвижными абонентами, функционирует в условиях воздействия аддитивных шумов и помех, мощность которых распределена во времени по нормальному закону, а полоса частот, занимаемая сигналом при всех заданных СКК, постоянна. Генерируемый источником информации траффик разнородный, пульсирующий.

В соответствии с определением когнитивной радиосистемы [2], для принятия решения на реконфигурацию необходимы данные:

– об окружающей среде, заключающиеся в результатах оценки радиоэлектронной обстановки в точке приема;

– данные о состоянии системы, включающие текущую оценку качества линии связи (выраженную через отношение сигнал/шум на входе приемника);

– данные о текущих эксплуатационных параметрах;

– данные о предъявляемых требованиях со стороны абонента – интенсивность входящего трафика.

Принятие решение на реконфигурацию радиосистемы заключается в выборе рабочей частоты с наименьшим уровнем шумов и помех и такого сочетания сигнально-кодовой конструкции и мощности передатчика, которые бы обеспечили своевременную и достоверную передачу пользовательского трафика в сложившихся условиях эксплуатации.

Отражающая вышеуказанные тезисы система управления отображена на рис. 3

Функционирование системы управления заключается выполнении последовательности действий, осуществляемых на основе анализа обстановки, состояния радиолинии и получаемой нагрузки:

– создание предпосылки для обеспечения связи с наилучшим качеством за счет выбора рабочей частоты с наименьшим уровнем шумов и помех [8, 9];

– определение сигнально-кодовой конструкции, наиболее соответствующей по обеспечиваемой пропускной способности интенсивности входящего траффика [11]);

– определение мощности передатчика, обеспечивающей требуемой отношение сигнал/шум на входе приемника при применяемой СКК;

– проверка принятых частных решений на адекватность и их коррекция в случае необходимости.

Анализ и принятие частных решений осуществляется на основе применения аппарата нечеткой логики. Принятие оконечного решения на реконфигурацию – проверкой частных решений на адекватность и, при необходимости, их коррекцией. Функции принадлежности на начальном этапе функционирования системы треугольные, применяется вывод по методу Ларсена и дефаззификация центроидным методом, что позволяет получать универсальную схему управления [10].

Выбор частоты осуществляется по результатам анализа помеховой обстановки, согласно рейтинга пригодности частоты для обеспечения связи. Оценка пригод-

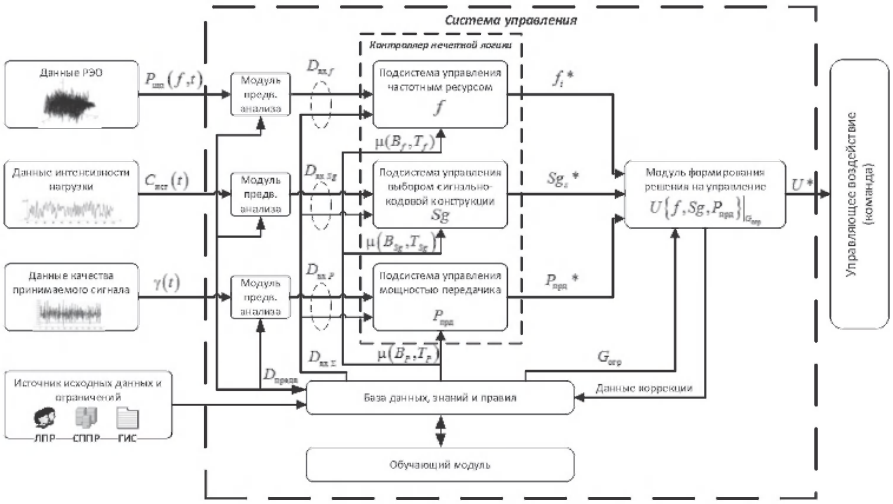

Рис. 3. Структурная модель системы управления когнитивной радиосистемы на основе нечеткой логики

4 2018.indd 41 15.12.2018 15:54

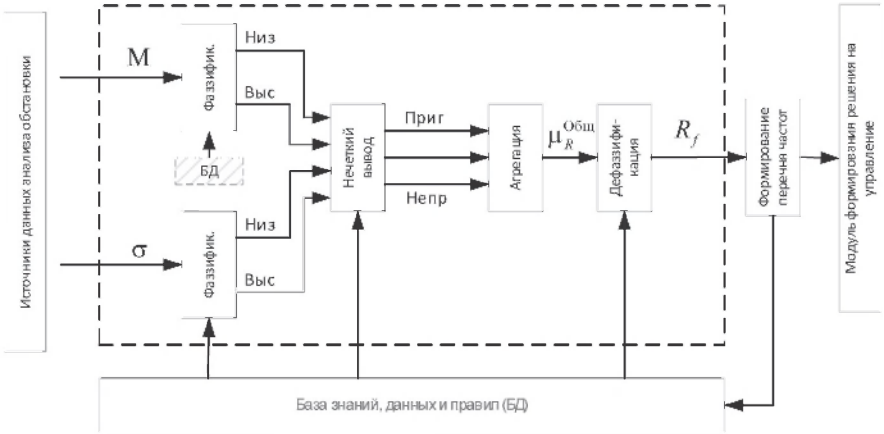

Рис. 4. Схема принятия решения по управлению частотой (присвоение рейтинга)

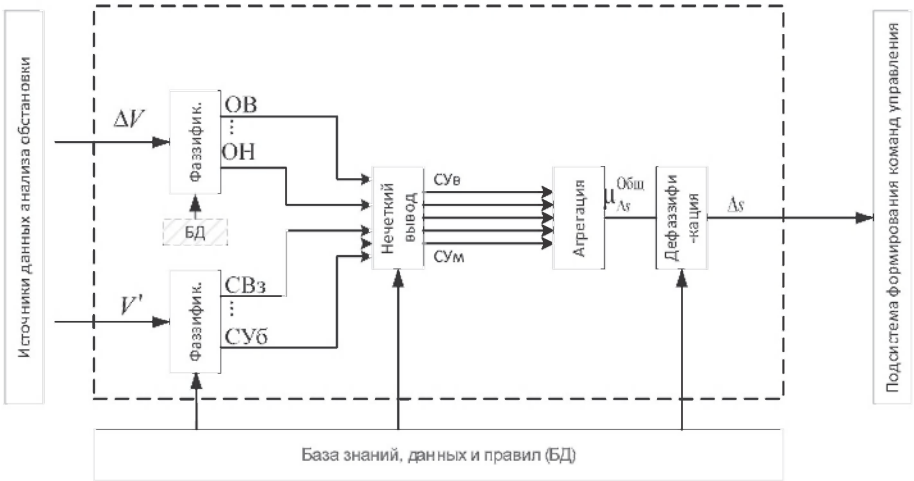

Рис. 5. Схема принятия решения на изменение индекса сигнально-кодовой конструкции

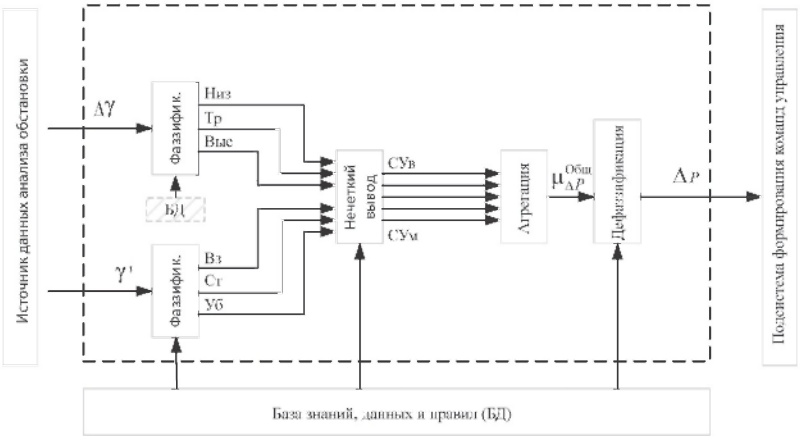

Рис. 6. Схема принятия решения по коррекции мощности передатчика

ности частотного ресурса производится по математическому ожиданию и среднеквадратическому отклонению мощности шумов и помех, вычисленным по J-му количеству измерений.

Определение наиболее пригодной СКК осуществляется на основе анализа расхождения текущей информационной пропускной способности сформированного канала связи и интенсивности входящего траффика.

Управление осуществляется инкрементно, дискретно, приращением индекса s сигнально-кодовой конструкции Sg. Анализ расхождения пропускной способности и интенсивности входящего траффика производится на основе оценки уровня заполнения буфера данных и динамики его изменения.

Мощность передатчика рассчитывается исходя из расхождения текущего отношения сигнал/шум и необходимого для обеспечения заданной достоверности передачи при выбранной СКК, а также динамики его изменения. Управление осуществляется инкрементно, непрерывно.

Применение нечеткой логики в данной модели позволяет принимать решение на реконфигурацию эксплуатационных параметров основываясь на логических выводах вида «если – то», проводить обучение системы управления изменяя количество термов и вид функций принадлежности, правила принятия решения.

Преимуществом данной модели является универсальность математического аппарата и сформированных схем принятия решения. Данное обстоятельство значительно упрощает разработку системы управления.

Отличие представленной модели от существующих – наличие комплексной системы принятия решения по нескольким разнотипным входным данным и ориентация системы управления на обеспечение оптимальной нагруженности канала связи. Оптимальность определяется необходимым и достаточным расходованием ресурсов на обеспечение информационного обмена с заданным качеством. Модель инвариантна к частотному диапазону, количеству и виду применяемых сигнально-кодовых конструкций, типу передаваемого траффика. Модель обеспечивает ситуационное управление в условиях динамически меняющейся помеховой обстановки.

Результат моделирования системы при применении метода Ларсена для формирования частных решений показал, что:

– оценка частотного ресурса может уточняется за счет рассмотрения комплекса характеристик случайного процесса – помеховой обстановки, что дает выигрыш при определении мощности для выполнения требования по вероятности связи;

– управление выбором сигнально-кодовой конструкции позволяет экономить энергетический ресурс и улучшает ЭМС при снижении нагрузки в линии передачи;

– управление мощностью при применении пропорционально-дифференциального контроллера нечеткой логики позволяет говорить о проактивности процесса.

Вывод

Разработанная модель позволяет синтезировать интеллектуальную систему управления параметрами линии радиосвязи на канальном и физическом уровнях. Нечеткая система управления позволит повысить качество передачи информации между подвижными абонентами в условиях динамически меняющейся радиоэлектронной обстановки.

Литература

1. Малыгин, И. Г. Информационные технологиии и искусственный интеллект – основные двигатели четвертой индустриальной революции (Industrie 4.0) / И.Г. Малыгин, В.И. Комашинский // Информационные технологии. – 2016. – № 12, Т. 2. – С. 899–904.

2. Отчет МСЭ-R SM.2152. Определение системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SRD) и системы когнитивного радио (CRS) // ITU. – Женева, 2010.

3. Гель, В. Э. Релизация когнитивной системы управления на основе аппарата нечеткой логики / В.Э. Гель, К.Н. Сорокин, А.К. Яковлев // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды II Межвузовской научно-практической конференции. – СПб, 2017. – С. 204–208.

4. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 4-е-е изд. – СПб: Питер, 2010. – 944 с.

5. Комашинский, В. И. Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации. Основы моделирования / В.И. Комашинский, А.В. Максимов. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2007. – 176 с.

6. Песков, С. Н. Расчет вероятности ошибки в цифровых каналах связи / С.Н. Песков, А.Е. Ищенко // Теле-Спутник. – 2010, ноябрь. – С. 70–75.

7. Патшин, А. В. Способ увеличения пропускной способности узкополосной нестационарной радиолинии автоматизированной системы радиосвязи ВЧ-диапазона / А.В. Патшин, В.П. Кубанов, Ю.М. Сподобаев // T-Comm. – 2012. – № 2. – С. 53–55.

8. Саид, М. А. Когнитивный подход к управлению радиочастотным спектром сети радиосвязи транспортных систем / М.А. Саид, О.А. Михалев, К.Н. Сорокин // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016. Материалы международной научно-практической конференции. Т. 2. – СПб, 2016. – С. 100–115.

9. Михалев, О. А. Управление радиочастотным спектром в когнитивной сети радиосвязи / О.А. Михалев, К.Н. Сорокин, М.Ю. Аванесов // Информация и Космос. – 2017. – № 1. – С. 57–66.

10. Ярушкина, Н. Г. Методы нечетких экспертных систем в интеллектуальных САПР / Н.Г. Ярушкина. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1997. – 107 с.

11. Комиссаров, С. А. Адаптивное нечеткое управление модуляцией сигналов в системах радиосвязи / С.А. Комиссаров, О.А. Михалев, К.Н. Сорокин // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Материалы II Межвузовской научно-практической конференции. – СПб, 2017. – С. 286–290.

4 2018.indd 43 15.12.2018 15:54