

## НЕЧЁТКАЯ ЛОГИКА В СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

*А.А. Колкк*

Рассмотрена задача совершенствования алгоритмов систем распознавания в бортовых радиоэлектронных комплексах. Показана необходимость использования элементов искусственного интеллекта. Представлена структурная схема устройства слежения за параметрами радиоэлектронных средств, с использованием оптимальной фильтрации и нечёткой логики. Проведено моделирование и исследование нечёткого проекта.

Ключевые слова: бортовые радиоэлектронные комплексы, распознавание типов РЭС, оптимальная фильтрация Калмана, нечёткая логика.

**Введение.** Применение искусственного интеллекта для качественного анализа принятых сигналов в условиях сложной радиоэлектронной обстановки является реальной назревшей необходимостью [1, 2]. Искусственный интеллект обеспечивает также возможность создания систем обработки сигналов способных к самообучению, и дает возможность оперативного вмешательства в программу обработки, в зависимости от складывающейся радиоэлектронной обстановки в данном районе.

Одним из эффективных вариантов применения искусственного интеллекта в организации работы бортового комплекса РЭП является на наш взгляд применение методов современной технологии – нечёткого (fuzzy) моделирования. Традиционные методы (статистические методы, методы оптимального управления) построения моделей не приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание подлежащей решению проблемы заведомо является неточным или неполным. С другой стороны,

стремление получить всю исчерпывающую информацию для построения точной математической модели в реальной ситуации приводит к потере времени и средств, и может быть в принципе невозможно. В подобных случаях целесообразно воспользоваться методами нечеткого моделирования, с помощью которых за последнее десятилетие решены сотни практических задач управления [3].

Распознавание типа РЭС. В теории распознавания оптимальные решения принимаются на основании байесовой процедуры, согласно которой решение о принадлежности принятого сигнала  $i$ -у классу РЭС принимается на основании (по результатам) анализа отношения правдоподобия  $\lambda_{jp}$  распределений вероятностей значений признаков  $j$ -го и  $p$ -го классов РЭС.

В настоящей статье в рамках нечеткого подхода предлагается объединение методов оптимальной фильтрации и нечеткой логики (НЛ). Сущность предлагаемого метода состоит в том, что при возникновении неоднозначных ситуаций, когда пространства принадлежности РЭС пересекаются, применяется нечеткая логика.

На рис. 1 представлена структурная схема станции радиотехнической разведки, использующей комплексирование методов ОФК и НЛ.

Пусть в некотором районе (информационном пространстве) обнаружена работа группы радиоэлектронных средств. Для каждого известного РЭС в соответствующей базе данных определены диапазоны возможной перестройки частоты и другие параметры. Для использования аппарата оптимальной фильтрации необходимо разработать динамико-стохастическую модель процесса эволюции параметров и модель процесса измерения [4].

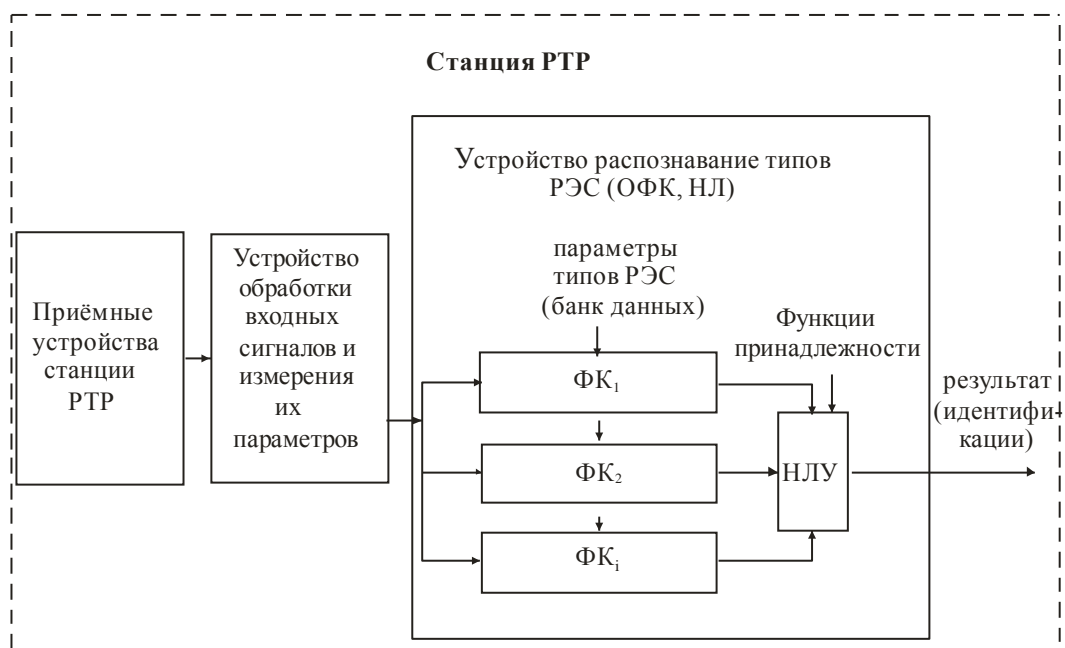


Рис. 1. Структурная схема станции радиотехнической разведки с устройством распознавания типов, использующего комплексирование методов ОФК и НЛ

Уравнения записываются для каждого типа РЭС из базы данных, и формируется так называемый банк фильтров Калмана. Обработка принятых сигналов происходит параллельно. Фильтр, параметры которого соответствуют принятому сигналу, даёт сходящуюся оценку при минимуме ковариационной матрицы и невязки (обновляющего процесса).

Моделирование процесса слежения за параметрами РЭС, с использованием оптимальной фильтрации Калмана в программной среде Matcad 14 дало положительные результаты [6, 7]. Предложенная модель ОФК для слежения как за плавно изменяющейся частотой, так и за скачкообразным изменением может быть использована и для других параметров РЭС, а также для слежения за пространственным положением РЭС.

Для разрешения ситуации неопределенности, когда координаты вектора измерения попадают одновременно в несколько областей предполагаемых РЭС (рис. 2), предлагается использовать методы нечёткой логики.

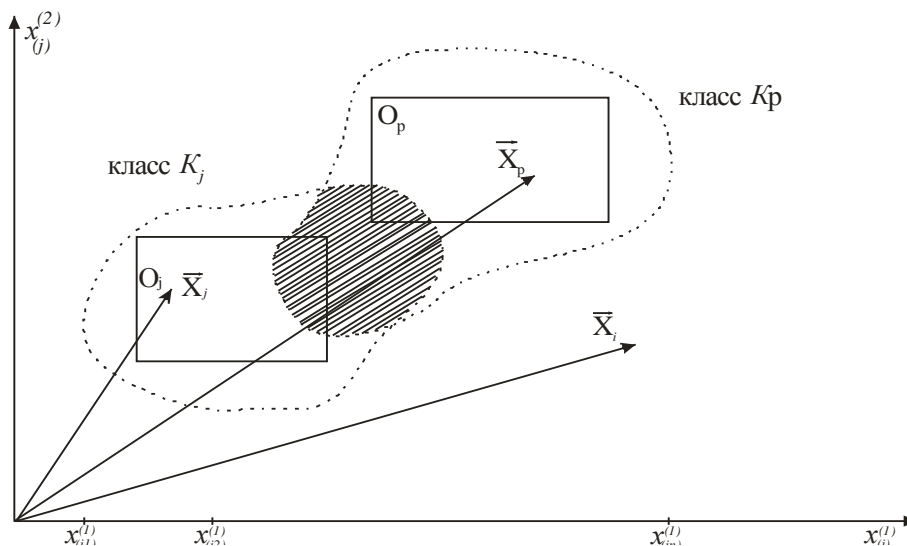


Рис. 2. Области пространства принадлежности РЭС

Пространство наблюдения в данном случае представлено координатами «несущая частота – длительность импульса». Как видно из (рис. 2), после оценки векторов  $X_p$  и  $X_j$  имеется возможность идентифицировать обнаруженные сигналы, т.е. отнести их соответственно к  $j$ -у и  $p$ -у типам. Измеренный вектор  $X_j$  некой неизвестной РЭС не позволяет провести опознавание принятого сигнала, так как вектору  $X_j$  не может быть приведена в соответствие ни одна из собственных областей каталога РЭС.

Нечеткая логика в системе распознавания типов РЭС в бортовых комплексах. Рассмотрим понятие «нечеткого» распознавания типа РЭС, которое понимается как попадание вектора состояния (измерения) в пространство принадлежности РЭС, относящееся к 2-м и более типам РЭС одновременно. Понятие нечеткого распознавания объекта достаточно хорошо

отражает сложившийся на практике экспертный подход [5]. Действительно, эксперт, руководствуясь значением вектора состояния, который определяет принадлежность к тому или иному типу, может считать, что объект принадлежит к типу А или принадлежит к «другому» типу, если значение вектора состояния находится вне пространства принадлежности данному РЭС. Причем в зависимости от конкретного значения разности между измеренными параметрами вектора состояния и параметрами, заложенными в банке экспертов для данного типа, можно считать, что объект принадлежит к типу А или не принадлежит данному типу соответственно в разной степени [8].

С помощью элементов нечёткой логики в программной среде FuzzyTECH разрабатывается нечёткий проект «Распознавание типов РЭС». Построение нечеткой модели основывается на формальном представлении характеристик исследуемой системы в терминах лингвистических переменных. Логично в качестве лингвистических переменных при формировании базы правил в системах нечеткого вывода рассматривать входные и выходные переменные моделируемой системы [1].

Необходимые параметры сигнала для определения типа РЭС (РЛС) будут следующие: несущая частота (F), вид излучения (TIP signal), длительность импульса (Time), период повторения импульсов (Period1, Period2), признак (priznak) [6]. Таким образом, определяем входные лингвистические переменные. Выходной переменной является «TIP RLS». Распознавание типов РЭС производим в программной среде fuzzyTECH (рис. 3).

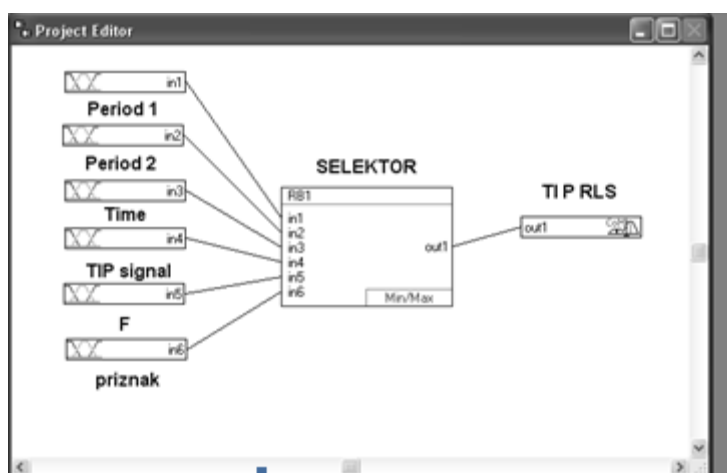


Рис. 3. Устройство распознавания типов РЭС  
в программной среде fuzzyTECH

Используя знания экспертов, определяем термы для входных лингвистических переменных. Например, функция принадлежности термов входной переменной F в программной среде fuzzyTECH имеет вид (рис. 4).

Следующим этапом программирования является создание блока правил на основе базы знаний экспертов, т.е. необходимо определённому набору

измеренных параметров облучающего неизвестного РЭС поставить в соответствие тип РЛС из банка данных. Экспериментальный блок правил в программной среде fuzzyTECH представлен на рис. 5.

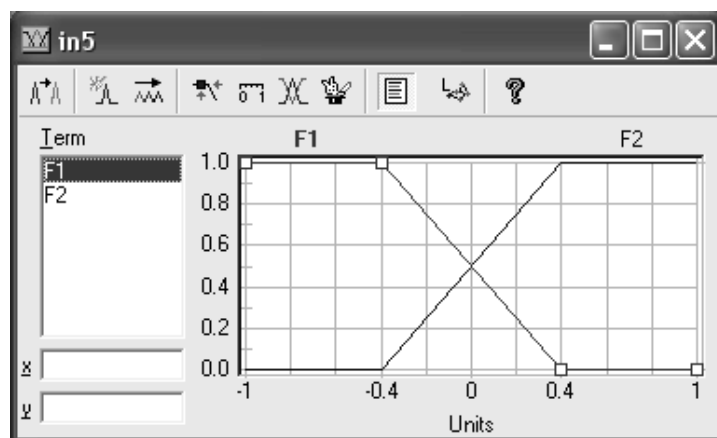


Рис. 4. Функция принадлежности «F» в программной среде fuzzyTECH

| #  | IF  |     |     |     |     |     | THEN                                     |      |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|------|
|    | in1 | in2 | in3 | in4 | in5 | in6 | DoS                                      | out1 |
| 1  | T1  |     | t5  | I   | F1  |     | <input type="checkbox"/> 1.00            | TIP1 |
| 2  | T3  |     | t2  | I   | F1  |     | <input type="checkbox"/> 1.00            | TIP2 |
| 3  |     |     |     | N   | F1  |     | <input checked="" type="checkbox"/> 1.00 | TIP3 |
| 4  | T2  |     | t2  | I   | F1  |     | <input type="checkbox"/> 1.00            | TIP4 |
| 5  | T2  |     | t3  | I   | F1  |     | <input type="checkbox"/> 1.00            | TIP4 |
| 6  | T3  |     | t1  | I   | F2  |     | <input type="checkbox"/> 1.00            | TIP4 |
| 7  |     | T5  | t2  | I   | F2  |     | <input type="checkbox"/> 1.00            | TIP4 |
| 8  |     | T7  | t5  | I   | F2  |     | <input type="checkbox"/> 1.00            | TIP5 |
| 9  |     | T7  | t1  | I   | F2  |     | <input type="checkbox"/> 1.00            | TIP6 |
| 10 |     |     |     | N   | F1  |     | <input checked="" type="checkbox"/> 0.50 | TIP5 |

Рис. 5. Блок правил в программной среде fuzzyTECH

Функция принадлежности выходной лингвистической переменной будет иметь вид (рис. 6). Изменяя вид функции принадлежности входных и выходных переменных, а также весовые коэффициенты, можно выработать оптимальное решение задачи, в зависимости от предполагаемой радиоэлектронной обстановки (применительно к конкретному району).

В результате исследования нечёткой модели с разработанным блоком правил получен результат, при котором распознавание типа РЭС происходит не совсем корректно. Значение функций принадлежности выходной переменной для термина «TIP3» соответствует 1, а термина «TIP5» 0,5. По данным результатам мы можем сказать, что нас облучает TIP3 с большей вероятностью, чем TIP5. Данная проблема решается введением дополни-

тельной переменной «priznak» (6-ая входная переменная), значение которой зависит от различных анализируемых параметров: полусферы облучения средства ПВО, сигналов поступающих от блока оптимальных фильтров, дополнительные данные от экспертов об изменениях в радиоэлектронной обстановке. В блоке оптимальных фильтров происходит слежение за изменениями положения по азимуту, а также слежение за РЭС, имеющими перестройку частоты, что обеспечивает слежение за облучающим РЭС без срывов. Применение оптимальной фильтрации в данном случае позволяет исключить не только срыв слежения за облучающим РЭС, но и принятие решения о появлении новой цели, а также возобновления цикла обработки принимаемого сигнала, идентификации его и т.д.

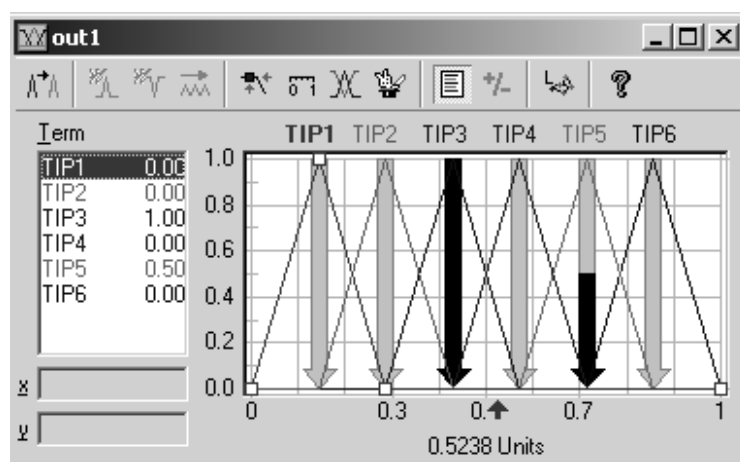


Рис. 6. Выходная переменная TIP RLS  
в программной среде fuzzyTECH

Внесём изменения в блок правил (рис. 7), добавим дополнительные правила:

**ПРАВИЛО 11:** ЕСЛИ излучение непрерывное N, диапазон F1, дополнительный признак TIP3, то РЛС облучающая самолёт относится к TIP3;

**ПРАВИЛО 12:** ЕСЛИ излучение непрерывное N, диапазон F1, дополнительный признак TIP5, то РЛС облучающая самолёт относится к TIP5.

Мы видим, что в результате исследований нечёткого проекта созданы оптимальные алгоритмы распознавания типов РЭС, устраняющие недостатки существующей системы управления комплексом РЭП. Функция принадлежности выходной лингвистической переменной, после добавления правил будет иметь вид (рис. 8). Нечёткий проект позволяют оперативно вносить изменения в существующую базу правил, основанную на базе знаний экспертов, учитывать изменения оперативной обстановки и появление новых РЭС противника.

| #  | IF  |     |     |     |     |      | THEN |      |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|    | in1 | in2 | in3 | in4 | in5 | in6  | DoS  | out1 |
| 1  | T1  |     | t5  | I   | F1  |      | 1.00 | TIP1 |
| 2  | T3  |     | t2  | I   | F1  |      | 1.00 | TIP2 |
| 3  |     |     |     | N   | F1  | no   | 0.50 | TIP3 |
| 4  | T2  |     | t2  | I   | F1  |      | 1.00 | TIP4 |
| 5  | T2  |     | t3  | I   | F1  |      | 1.00 | TIP4 |
| 6  | T3  |     | t1  | I   | F2  |      | 1.00 | TIP4 |
| 7  |     | T5  | t2  | I   | F2  |      | 1.00 | TIP4 |
| 8  |     | T7  | t5  | I   | F2  |      | 1.00 | TIP5 |
| 9  |     | T7  | t1  | I   | F2  |      | 1.00 | TIP6 |
| 10 |     |     |     | N   | F1  | no   | 0.50 | TIP5 |
| 11 |     |     |     | N   | F1  | TIP3 | 1.00 | TIP3 |
| 12 |     |     |     | N   | F1  | TIP5 | 1.00 | TIP5 |

Рис. 7. Блок правил в программной среде fuzzyTECH (12 правил)

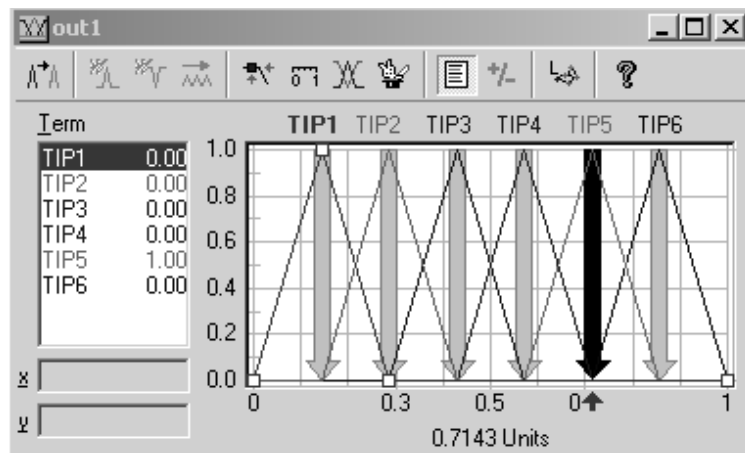


Рис. 8. Выходная переменная TIP RLS в программной среде fuzzyTECH (12 правил)

Внедрение разработанных алгоритмов повышает боевые возможности комплексов РЭП в сложной радиоэлектронной обстановке и не требует больших затрат на улучшение характеристик исполнительных элементов комплексов.

**Заключение.** Системы управления радиоэлектронными комплексами представляют собой сложные технические системы. Создание современных систем управления требует новых, нетрадиционных подходов. Решение данной задачи представляется возможным объединением методов оптимальной фильтрации и нечёткой логики. Представленные результаты дают основания для заключения о том, что созданные алгоритмы распознавания типов РЭС, повышают эффективность системы. Нечёткий проект позволяет оперативно вносить изменения в существующую базу правил,

основанную на базе знаний экспертов, учитывать изменения оперативной обстановки и появление новых РЭС. Моделирование позволяет выбрать вид и оптимальные параметры функций принадлежности входных и выходных переменных.

#### Библиографический список

1. Радзиевский, В.Г. Информационное обеспечение радиоэлектронных систем в условиях конфликта / В.Г. Радзиевский, А.А. Сирота. – М.: ИПРЖР, 2001. – 456 с.
2. Карманов, Ю.Т. Применение теории игр в задачах радиолокации и радиоэлектронного противодействия / Ю.Т. Карманов, В.В. Родионов // Цифровые радиоэлектронные системы. – 1997. – № 1. – С. 38–55.
3. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.
4. Ананьев, Б.И. Определение наилучших сигналов в задачах гарантированного оценивания / Б.И. Ананьев, В.И. Ширяев // Автоматика и телемеханика. – 1987. – № 3. – С. 49–58.
5. Опыт применения пакета прикладных программ к задаче оптимального управления маневрирующим летательным аппаратом / А.Ю. Горнов, С.Н. Даровских, А.И. Жолудев и др. // Интеллектуализация программных средств. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1990. – С. 152–160.
6. Колкк, А.А. Совершенствование алгоритмов оценки параметров радиосигналов с использованием аппарата нечеткой логики при вторичной обработке информации в авиационных комплексах радиоэлектронного подавления / А.А. Колкк // Новые технологии. Т. 1. Материалы IX Всероссийской конференции. – М.: РАН, 2012 – С. 135–143.
7. Об алгоритмах распознавания типов радиоэлектронных средств в бортовых комплексах разведки / А.А. Колкк и др. // Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки. В 2 т. Т. 2. Сб. науч. ст. по материалам II Всероссийской НПК «АВИАТОР» (11–13 февраля 2015 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – С. 86–92.
8. Безмен, Г.В. Функциональное диагностирование линейных динамических систем с использованием нечеткого анализа / Г.В. Безмен, Н.В. Колесов // Информационно-управляющие системы. – 2009. – № 6. – С. 67–73.

[К содержанию](#)