

ОБ АЛГОРИТМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ РАЗВЕДКИ

А.А. Колкк

Рассмотрена задача совершенствования алгоритмов систем управления бортовыми радиоэлектронными комплексами разведки. Показана необходимость использования современных информационных технологий, включая элементы искусственного интеллекта. В рамках нечеткого подхода предлагается объединение методов оптимальной фильтрации и нечёткой логики. Дано понятие «нечеткого» распознавания типов радиоэлектронных средств и представлена математическая модель оптимального фильтра Калмана (ОФК) в устройствах слежения за параметрами радиоэлектронных средств. Проведено моделирование и исследование нечёткого проекта и созданы оптимальные алгоритмы распознавания типов радиоэлектронных средств.

Ключевые слова: алгоритмы систем управления, оптимальная фильтрация, нечеткая логика.

Введение

Представляется возможным реализовать вторичную обработку информации в станциях непосредственной радиотехнической разведки (РТР) с помощью методов, основанных на нечёткой логике и оптимальной фильтрации.

Задача распознавания типов радиоэлектронных средств (РЭС) может рассматриваться в разных постановках – детерминированных, стохастических, нечетких. Выбор той или иной постановки определяется содержанием прикладной задачи, решаемой динамической системой, и имеющейся в распоряжении эксперта априорной информацией о параметрах и типах РЭС [1, 2]. Если эксперт располагает статистической информацией о радиоэлектронной обстановке в данном регионе, то может быть применен стохастический подход. Если статистическая информация недоступна, то может быть применён детерминированный подход, усиленный нечёткими методами анализа типов РЭС.

1. Постановка задачи

В рамках статистического подхода распознавания оптимальные решения принимаются на основании байесовой процедуры, согласно которой решение о принадлежности принятого сигнала определённому классу РЭС принимается на основании (по результатам) анализа отношения правдоподобия распределений вероятностей значений признаков.

К статистическому подходу относится метод ОФК, который широко используется последние десятилетия в различных системах управления.

В настоящей работе в рамках нечеткого подхода предлагается объединение методов оптимальной фильтрации и нечёткой логики (НЛ). Сущность предлагаемого метода состоит в том, что при возникновении неоднозначных ситуаций, когда пространства принадлежности РЭС пересекаются, применяется нечёткая логика. На рис. 1 представлена структурная схема устройства распознавания РЭС, использующего комплексирование методов ОФК и НЛ.

Для каждого РЭС в соответствующей базе данных определены диапазоны возможной перестройки частоты и других параметров, по которым настраивается соответствующий фильтр, т. е. 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).

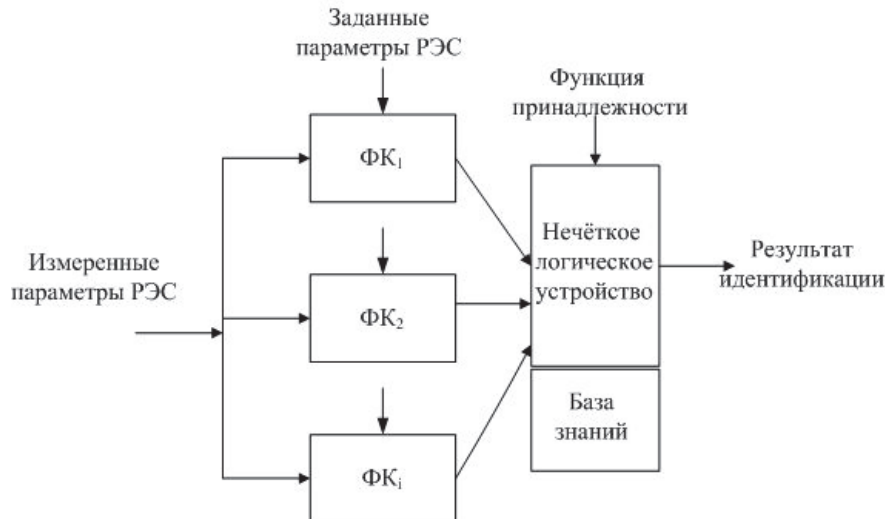


Рис. 1. Структурная схема устройства распознавания типов РЭС

2. Математическая модель оптимального фильтра Калмана (ОФК) в устройствах слежения за параметрами радиоэлектронных средств

Предполагается, что процесс измерения параметров, происходящий в системе обработки информации, сопровождается шумами измерения и может быть описан в линейном случае уравнением процесса и уравнением наблюдения

$$x_{k+1} = Ax_k + \xi_k, \quad (1)$$

$$y_k = Hx_k + \eta_k, \quad (2)$$

где x_k – n -мерный вектор состояния, A – переходная матрица, ξ_k – аддитивный шум модели, y_k – обозначает действительно наблюдаемый параметр; определяющий перечень параметров распознавания; H – матрица наблюдения, связывающая вектора состояния и наблюдения; η_k – аддитивный шум определяется погрешностями измерительной аппаратуры.

Для одномерного случая слежения только за частотой сигнала РЭС уравнения дискретного фильтра Калмана будут иметь вид:

$$x_{k+1} = x_k + \xi_k, \quad (3)$$

$$y_k = x_k + \eta_k, \quad (4)$$

где матрица A вырождается в скалярную единицу.

При скачкообразной перестройке по случайному закону модель (1.2) представим в виде

$$x_{k+1} = x_k + \xi_k + \vartheta_{tk}, \quad (5)$$

$$y_k = x_k + \eta_k, \quad (6)$$

где ϑ_{tk} моделирует скачок в системе типа ступенчатой функции

$$\vartheta_{tk} = \begin{cases} 0, & k < t; \\ \theta, & k \geq t. \end{cases} \quad (7)$$

Статистические характеристики скачка частоты определяются, исходя из максимально возможного диапазона и скорости перестройки, время возникновения скачка неизвестно. По получаемым на каждом шаге наблюдениям y_{k+1} необходимо обнаружить скачок ϑ_{tk} в системе и оценить момент его появления t , величину θ .

Для решения задачи слежения за пространственным (угловым положением) РЭС разработана соответствующая модель на основе поступательного движения самолета [3].

Зададим модель изменения координат РЭС в виде уравнений (1)–(2), где $x_{k+1} = [\varphi_{k+1} \ V_{k+1}]^T$ – вектор состояния; φ_{k+1} – азимут самолета; V_{k+1} – линейная скорость самолета.

Результаты моделирования (1)–(7) на примере слежения за стабильной и плавно изменяющейся частотой представлены на рис. 2 [4]. Из рисунков видно, что процесс слежения идёт без срывов и возникающие ошибки малы и не влияют на устойчивость системы в целом.

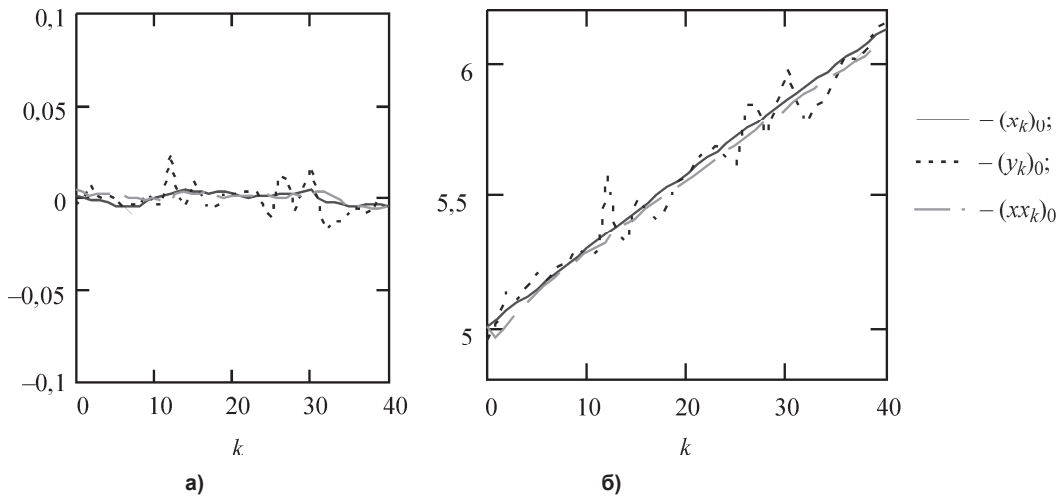


Рис. 2. Результаты моделирования работы фильтра Калмана:
 а) ошибка слежения за стабильной частотой;
 б) ошибка слежения за частотой при плавной перестройке

Разработанный алгоритм расширяет возможности системы распознавания РЭС, повышает устойчивость слежения и уменьшает вероятность принятия решения о появлении новой РЭС при маневрировании ранее выявленной.

3. Нечеткая логика в информационной системе комплекса разведки

Рассмотрим понятие «нечеткого» распознавания типа РЭС, которое понимается как попадание вектора состояния (измерения) в пространство принадлежности РЭС, относящееся к двум и более типам РЭС одновременно. Понятие нечеткого распознавания объекта достаточно хорошо отражает сложившийся на практике экспертный подход [2]. 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.

Определим нечеткое распознавание объекта по вектору состояния как лингвистическую переменную, характеризующуюся, например, двумя термами (нечеткими множествами) – тип А или «другой» тип, которые описываются соответствующими функциями принадлежности $\mu_{v_i}^0$ и $\mu_{v_i}^1$.

На рис. 3 приведена иллюстрация понятий «чёткого» (а) и «нечёткого» (б) распознавания объекта.

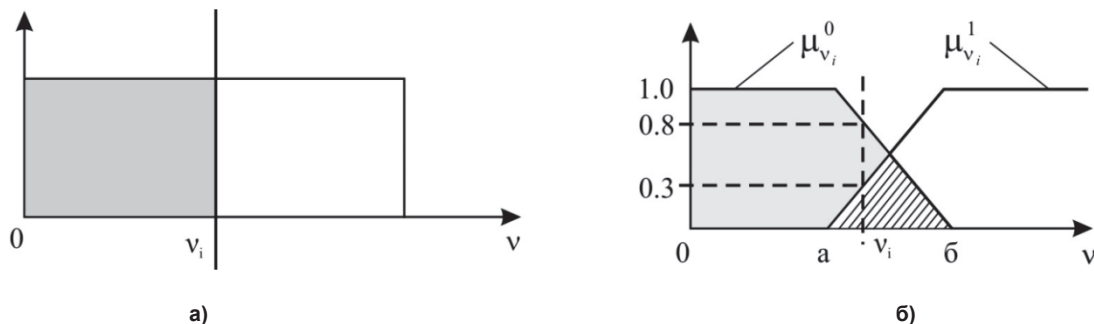


Рис. 3. Иллюстрация понятий «чёткого» и «нечёткого» распознавания объекта

В первом случае области значений вектора состояния x_i , соответствующие типу А и не соответствующие типу А (на рисунке они обозначены прямоугольниками разной окраски), разделены четкой границей. Во втором случае эти области пересекаются (область пересечения отмечена штриховкой) и описываются соответствующими функциями принадлежности с параметрами «а» и «b». В результате при любом значении вектора $x = x_i$ состояние процесса (распознавания) может быть соотнесено как с нечетким множеством типа А ($\mu_{v_i}^0 = 0,8$), так и с нечетким множеством, не принадлежащим типу А ($\mu_{v_i}^1 = 0,3$). Заметим, что в настоящей работе рассмотрение ограничено использованием кусочно-линейных функций принадлежности, таких как трапециевидная, треугольная и в данном случае Z-образная

$$\mu_{v_i}^0 = \begin{cases} 1. & 0 \leq v \leq a. \\ \frac{b-v}{b-a}. & a \leq v \leq b. \\ 0. & \text{другое} \end{cases} \quad \mu_{v_i}^1 = \begin{cases} 0. & 0 \leq v \leq a. \\ \frac{v-a}{b-a}. & a \leq v \leq b. \\ 1. & \text{другое} \end{cases}$$

Предполагается, что невязка $v_i, i=0, N$, формируемая на выходе i -го ФК, может быть представлена лингвистической переменной, например, с двумя термами – «малая» и «большая», для которых заданы функции принадлежности $\mu_{v_i}^0$ и $\mu_{v_i}^1, i = 0, N$.

4. Математическое моделирование процесса (задачи) распознавания

Выполним моделирование процесса распознавания [4]. 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). Таким образом, определяем входные лингвистические переменные. Выходной переменной является «TIP RLS». Распознавание типов РЭС производим в программной среде fuzzyTECH (рис. 4). Экспериментальный блок правил в программной среде fuzzyTECH представлен на рис. 5.

В результате исследований нечёткого проекта созданы оптимальные алгоритмы распознавания типов РЭС, устраняющие недостатки существующей системы распознавания. Исследования цифровой схемы существующего радиоэлектронного комплекса показали, что в сложной радиоэлектронной обстановке возникают ситуации, в которых принятие решения о типе РЭС затруднено.

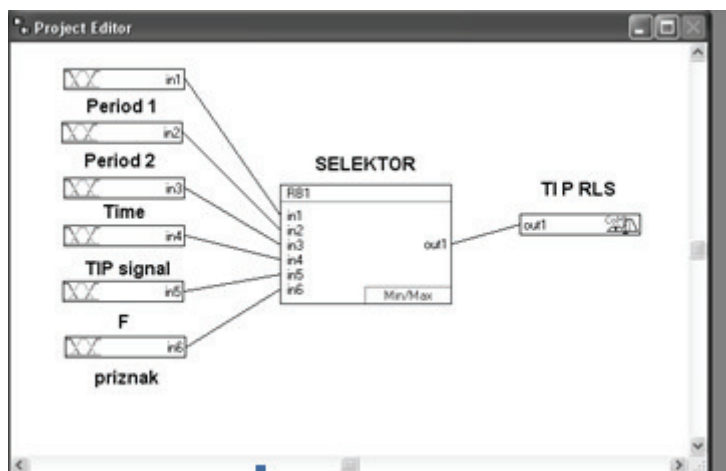


Рис. 4. Устройство распознавания типов РЭС в программной среде fuzzyTECH

#	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. 5. Блок правил в программной среде fuzzyTECH

В рассмотренном при моделировании случае облучающее средство было отнесено одновременно к двум типам, а при объединении оптимальной фильтрации и нечёткой логики за счет определения величины невязки был получен однозначный ответ.

Заключение

Для создания сложных технических систем в области информационного обеспечения представляется возможным объединение методов оптимальной фильтрации и нечёткой логики. Представленные результаты дают основания для заключения о том, что созданные алгоритмы распознавания типов РЭС в условиях насыщенности радиоэлектронной обстановки 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, а также позволяет принимать решение по каждому полученному сигналу, измеренному его параметрам.

Литература

1. 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.
2. Безмен, Г.В. Функциональное диагностирование динамических систем с использованием нечетких правил анализа и принятия решений об отказе / Г.В. Безмен, Н.В. Колесов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2011. – № 3. – С. 3–12.
3. Шатовкин, Р.Р. Модель изменения линейной скорости пространственно маневрирующей воздушной цели / Р.Р. Шатовкин, О.И. Сентябов, В.А. Малышев // Авиакосмическое приборостроение. – 2012. – № 6. – С. 13–18.
4. 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: материалы IX Всероссийской конференции. – М.: РАН, 2012. – Т. 1. – С. 135–143.

Колкк Андрей Александрович, старший преподаватель 5 факультета подготовки штурманов филиала ВУНЦ ВВС, г. Челябинск, kandidat@mail.ru

ON THE TYPE OF RADIO-ELECTRONIC MEANS RECOGNITION ALGORITHMS IN AIRBORNE RECONNAISSANCE COMPLEXES

A.A. Kolk, 5 Faculty Training Navigators Branch of the Air Force Military Training,
Chelyabinsk, Russian Federation, *kandidatyra@mail.ru*

Рассмотрена задача совершенствования алгоритмов систем управления бортовыми радиоэлектронными комплексами разведки. Показана необходимость использования современных информационных технологий, включая элементы искусственного интеллекта. В рамках нечеткого подхода предлагается объединение методов оптимальной фильтрации и нечеткой логики. Дано понятие «нечеткого» распознавания типа радиоэлектронных средств и представлена математическая модель оптимального фильтра Калмана (ОФК) в устройствах слежения за параметрами радиоэлектронных средств. Проведено моделирование и исследование нечеткого проекта и созданы оптимальные алгоритмы распознавания типов радиоэлектронных средств.

Ключевые слова: алгоритмы систем управления, оптимальная фильтрация, нечеткая логика.

References

1. Bezmen G.V., Kolesov N.V. Functional Diagnosis of Linear Dynamic Systems Using Fuzzy Analysis [Funktional'noe diagnostirovanie lineynykh dinamicheskikh system s ispol'zovaniem nechetkogo analiza]. *Informatsionno-upravlyayushchie sistem.*, 2009, no. 6, pp. 67–73.
2. Bezmen G.V., Kolesov N.V. Functional Diagnosis of Dynamic Systems Using Fuzzy Rules Analysis and Decision Making on Refusal [Funktional'noe diagnostirovanie dinamicheskikh system s ispol'zovaniem nechetkikh pravil analiza i prinyatiya resheniy ob otkaze]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniy*, 2011, no. 3, pp. 3–12.
3. Shatovkin R.R., Sentyabov O.I., Malyshev V.A. Change Model Lines Including Air Space Speed Noah Aims Aerospace Instrumentation [Model' izmeneniya lineynoy skorosti prostranstvenno manevri-ruyushchey vozdyshnoy tseli]. *Aviakosmicheskoe priboroctroenie*, 2012, no. 6, pp. 13–18.
4. Kolk A.A. Improved Algorithms for the Estimation of Parameters of Radio Signals Using the Apparatus of Fuzzy Logic in Secondary Processing in Airborne Jamming Systems [Sovershenstvovanie algoritmov otsenki parametrov radiosignalov s ispol'zovaniem apparata nechetkoy logiki pri vtorichnoy obrabotke informatsii v aviatsionnykh kompleksakh radioelektronnogo podavleniya]. *Novye technologii. IX vserossiyskaya konferentsiya* [New Technologies. IX the all-Russia Conference], Moscow, Science, 2012, no. 1, pp. 135–143.

Поступила в редакцию 15 марта 2013 г.