

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А.А. Колкк¹, В.А. Колкк¹, В.И. Ширяев²

¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске, г. Челябинск, Россия,

²Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Введение. В основу современных информационных технологий для сложных систем автоматизации в условиях неопределенности положен принцип ситуационного управления. К таким технологиям относятся следующие: экспертные системы, нейросетевые структуры, нечеткая логика и ассоциативная память. Развитие интеллектуальных технологий связано с объединением различных методов обработки знаний. Данное направление обеспечивает повышение быстродействия, сокращение объема знаний. Предполагается возможным объединение нечеткой логики и экспертных систем. **Цель исследования.** Рассмотреть задачу совершенствования алгоритмов распознавания в системах управления путем объединения методов оптимальной фильтрации и нечеткой логики на этапе вторичной обработки информации о параметрах объектов. **Материалы и методы.** Для предварительной обработки будем рассматривать фильтры Калмана (ФК), для реализации которых в реальном времени требуется меньше вычислительных ресурсов по сравнению с алгоритмами гарантированного оценивания. В предлагаемом методе применим банк (ФК). Математическое моделирование проводим в программной среде Mathcad 14. В программной среде FuzzyTECH разрабатывается нечеткий проект «Распознавание типа объекта». Разработка нечеткой модели проходит в несколько этапов. Во-первых, представление входных переменных в терминах лингвистических переменных. Во-вторых, опираясь на знания экспертов, определяем термы для лингвистических переменных. В-третьих, создание блока правил. В-четвертых, исследование созданного нечеткого проекта. **Результаты.** Проведенное математическое моделирование ФК в устройствах слежения за параметрами объектов в процессе распознавания в программной среде Mathcad 14 показало возможность применения банка фильтров в рассмотренных устройствах. Созданы и исследованы алгоритмы распознавания типов объектов с использованием нечеткой логики. **Заключение.** Созданные алгоритмы системы управления, объединяющие в себе фильтрацию Калмана и нечеткую логику, повышают эффективность системы распознавания.

Ключевые слова: информационные технологии, распознавание типов объектов, фильтрация Калмана, нечеткая логика.

Введение

В основу современных информационных технологий для сложных систем автоматизации в условиях неопределенности [1] положен принцип ситуационного управления [2]. К таким технологиям относятся следующие: экспертные системы, нейросетевые структуры, нечеткая логика и ассоциативная память [3]. В этой связи интерес к интеллектуальным системам управления будет только возрастать [3–5]. В настоящее время существует фундаментальная теоретическая база интеллектуальных систем управления – это работы Д. Поспелова [6, 7], Л. Заде [8, 9], Т. Тэрано [10], А. Леоненкова [11] и др. Концепция построения интеллектуальных систем управления основана на трех ключевых положениях:

- теории ситуационного управления;
- иерархическом принципе построения системы управления;
- обоснованном использовании четырех интеллектуальных технологий, наиболее разработанных на сегодняшний день (экспертных систем, нечеткой логики, нейронных сетей, ассоциативной памяти) [3, 6].

Данная концепция предполагает использование интеллектуальных систем в случаях, когда для повышения качества управления необходимо учитывать все факторы, влияющие на систему, в том числе информационную неопределенность. Интеллектуальные технологии постоянно претерпевают изменения в процессе своего развития. Одним из направлений этого процесса является объединение методов обработки знаний. Развитие интеллектуальных технологий связано с объединением различных методов обработки знаний. Данное направление обеспечивает повышение быстродействия, сокращение объема знаний. Предполагается возможным объединение нечеткой логики и экспертных систем [11].

Одним из направлений развития концепции является разработка бортовых интеллектуальных систем тактического уровня (БИС-ТУ) для антропоцентрических объектов (Антр/объект) [5]. Одним из этапов функционирования Антр/объекта является решение задачи оперативного целеполагания. Для решения данной задачи необходима поддержка, которую могут оказать бортовые оперативно-советующие экспертные системы типовых ситуаций полета (БОСЭС ТС) [5].

Бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций (БОСЭС ТС) полета летательного аппарата предназначены для решения задач второго глобального уровня управления (П ГЛУУ) [5,12]. П ГЛУУ – это задачи, с помощью которых определяются рациональные пути достижения текущей цели полёта, т. е. тактические задачи.

Одной из таких тактических задач является преодоление боевыми самолетами насыщенной ПВО противника. На современном этапе развития бортового радиоэлектронного оборудования создание бортового комплекса обороны (БКО) как БОСЭС ТС экипажа стало объективной необходимостью.

Применение искусственного интеллекта (ИИ) обеспечивает также возможность создания систем обработки сигналов, способных к самообучению, и дает возможность оперативного вмешательства в программу обработки в зависимости от складывающейся обстановки в информационном пространстве. Нечеткая логика, как говорилось выше, является одной из наиболее используемых и разработанных искусственных технологий, применяемых при разработке современных систем управления.

Очевидной областью внедрения интеллектуальных технологий являются всевозможные экспертные системы, в том числе самообучающиеся системы, называемые иначе классификаторами.

1. Постановка задачи

Задача распознавания типов объектов в системах управления бортовых комплексов является чрезвычайно актуальной. Работа всего комплекса состоит из нескольких этапов. На первом этапе сигналы, полученные датчиками, проходят первичную обработку для дальнейшей передачи в систему распознавания.

Второй этап (распознавание) – на основе измеренных параметров принятого сигнала и сравнение их с базой знаний, принятие решения об отнесении объекта к тому или иному типу.

Третий этап – на основе распознавания типа объекта, принятие решения на распределение ресурсов по обслуживанию объекта.

В случае если решение на втором этапе было принято неверное (задача распознавания не выполнена), то и работа всего комплекса по обслуживанию объекта не эффективна. Для повышения эффективности работы системы управления на этапе распознавания необходимо искать пути совершенствования алгоритмов. Применение искусственного интеллекта для качественного анализа принятых сигналов в условиях неопределенности является реальной назревшей необходимостью [3, 4, 6].

В статье ставится и решается задача совершенствования алгоритмов распознавания типов объектов в системах управления путем объединения методов оптимальной фильтрации и нечеткой логики на этапе вторичной обработки информации о параметрах объектов.

2. Распознавание типа объекта

Решение задачи построения системы идентификации объектов представляется возможным с помощью внедрения элементов нечеткой логики. В рамках нечеткого подхода предлагается объединение методов фильтрации и нечеткой логики [13].

В теории распознавания оптимальные решения принимаются на основании байесовской процедуры [14].

Для предварительной обработки будем рассматривать ФК, для реализации которого в реальном времени требуется меньше вычислительных ресурсов по сравнению с алгоритмами гарантированного оценивания [15,16], которые целесообразно применять в случае отсутствия статистической информации о помехах в приемных каналах. В нашем случае применим банк фильтров Калмана (ФК). Структурная схема устройства распознавания объектов (объединение методов ФК и НЛ) представлена на рис. 1.

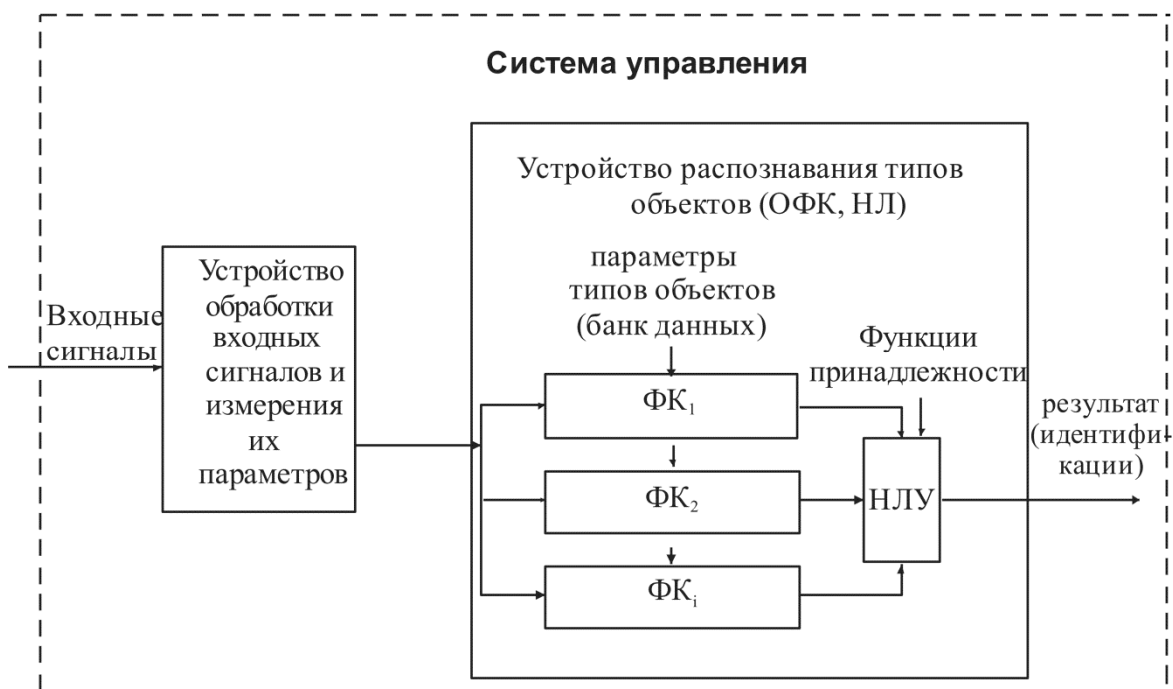


Рис. 1. Структурная схема устройства распознавания объектов (объединение методов ФК и НЛ)
Fig. 1. Structural diagram of the object recognition device (combination of Kalman Filter and Fuzzy Logic methods)

Рассмотрим следующую ситуацию. Пусть в некотором районе (информационном пространстве) обнаружена группа объектов. Каждому типу объекта соответствует определенный набор параметров, который создается и хранится в базе данных. База создается на основе знаний экспертов в данной области.

Для использования аппарата фильтрации Калмана необходимо разработать математическую модель процесса эволюции параметров и модель процесса измерения [13]. Записываются уравнения процесса эволюции каждого типа объектов, на основании которых формируется банк фильтров Калмана [17]. Обработка принятых сигналов происходит параллельно.

Рассмотрим ситуацию, при которой отнести наблюдаемый объект к одному из известных типов, о котором занесена информация в базу данных (вектор измерения попадает в области принадлежности двух типов объекта), представляется невозможным (возникает неопределенность) (рис. 2) [13].

Пространство наблюдения в данном случае представлено координатами «параметр t_1 – параметр t_2 ». Оцениваем расположение векторов X_p , X_j и X_i как видим из рис. 2, объекты, находящиеся в областях пространства O_j и O_p , относятся к классу K_j и K_p , т. е. их тип определяется однозначно. Для некоторого i -го неизвестного объекта измеренный вектор X_i не позволяет провести опознавание и отнести его к одному из известных типов, так как вектор X_i находится в области пространства (заштрихованная область на рис. 2), которая однозначно не может быть отнесена к какому-либо типу объектов.

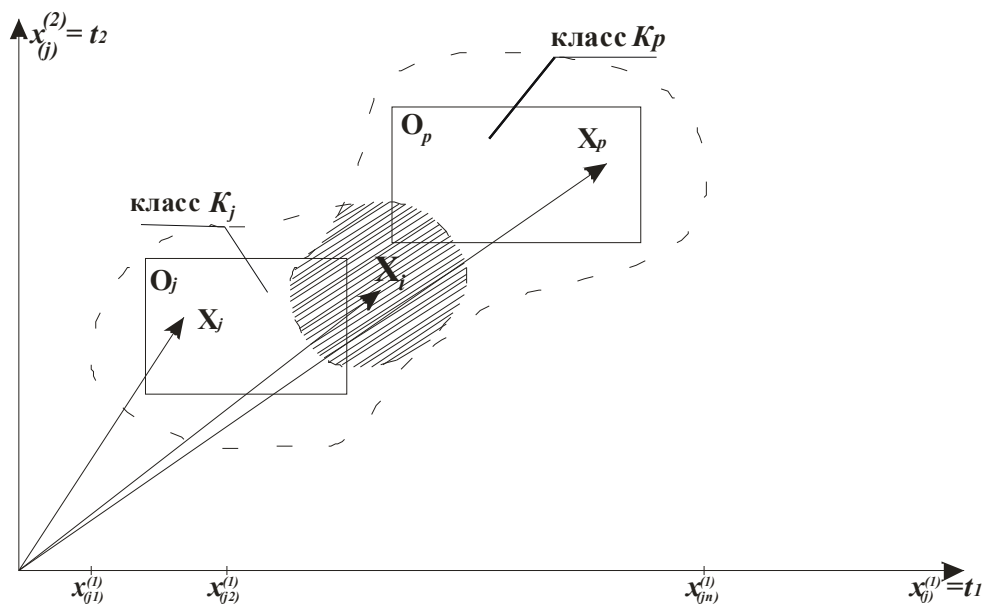


Рис. 2. Области пространства принадлежности типа объекта
 Fig. 2. Object Type Ownership Space Regions

Применение банков фильтра Калмана позволяет сузить область пространства распознавания, в которое попадает вектор X_i (рис. 3, 4). В первом случае (см. рис. 3) неопределённость в классификации не возникает и вектор X_i располагается в области O_j , т. е. относится к классу K_j . Во втором случае (см. рис. 4) неопределённость остается, возникает неоднозначная ситуация, когда пространства принадлежности объекта пересекаются, в этом случае и применяем нечеткую логику.

Применение нечеткой логики для данного случая (см. рис. 4) в условиях недостаточности информации о характеристиках наблюдаемых объектов позволяет полнее использовать знания, полученные ранее, а также с помощью программной среды fuzzyTECH вносить оперативную информацию о вновь полученных данных. Знания экспертов используются для создания нечеткой модели устройства распознавания.

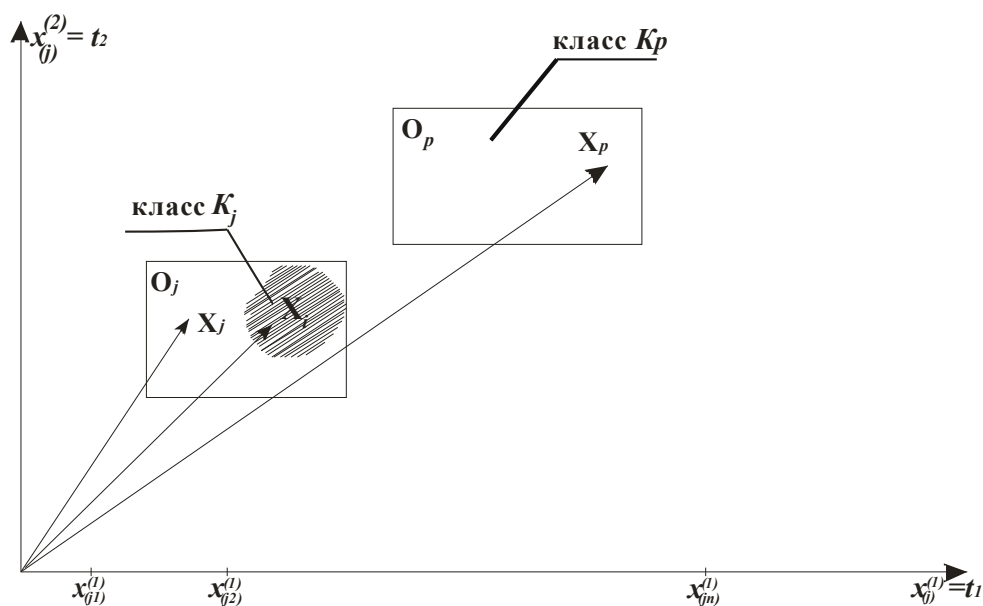


Рис. 3. Области пространства принадлежности типа объекта (ФК)
 Fig. 3. Object Type Ownership Space Regions (Kalman Filter)

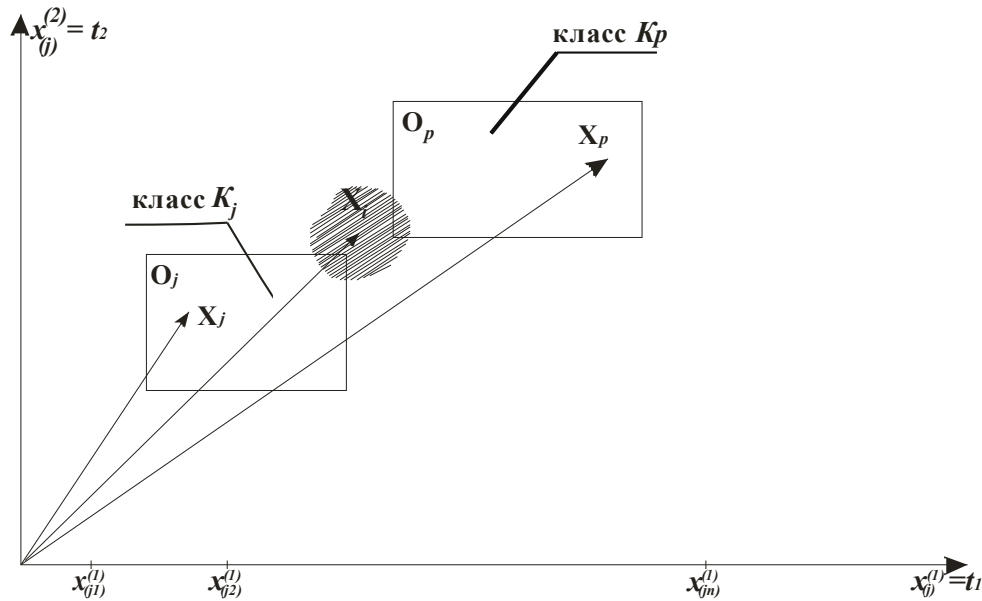


Рис. 4. Области пространства принадлежности типа объекта (НЛ)
Fig. 4. Object Type Ownership Space Regions (Fuzzy Logic)

Проведенное математическое моделирование ФК в устройствах слежения за параметрами объектов в процессе распознавания в программной среде Mathcad 14 показало возможность применения банка фильтров в рассмотренных устройствах [13, 18, 19].

Были построены следующие модели слежения:

- модель для слежения за изменяющимся параметром (скорость изменения параметра много меньше периода измерения);
- модель, где измеряемый параметр может изменяться скачкообразно, по случайному закону (скорость изменения параметра сопоставима с периодом измерения);
- модель слежения за угловым положением наблюдаемого объекта (поступательное движение объекта).

В результате исследования моделей слежения (типичные ситуации) получены положительные результаты [13, 19]:

- повышается вероятность принятия решения об отнесении наблюдаемого объекта к тому или иному типу;
- повышена устойчивость слежения за движущимися объектами;
- уменьшается вероятность срыва слежения за маневрирующим объектом, а также принятия решения о появлении нового типа объекта [13, 19].

3. Построение нечеткой модели «Распознавание типа объекта»

В программной среде FuzzyTECH разрабатывается нечеткий проект «Распознавание типа объекта». Разработка нечеткой модели проходит в несколько этапов. Во-первых, представление входных переменных в терминах лингвистических переменных. Во-вторых, опираясь на знания экспертов, определяем термы для лингвистических переменных. В-третьих, создание блока правил. В-четвертых, исследование созданного нечеткого проекта и коррекция разработанной модели [19].

Определяем входные переменные в терминах лингвистических переменных, которые являются параметрами, характеризующими тип наблюдаемого объекта. Это следующие: скорость объекта (V), площадь объекта (S), принадлежность объекта (T), дистанция до объекта (D). Выходной лингвистической переменной с термами, определяющими классификацию объектов, обозначаем «ГПР». Исследование нечеткого проекта проводим в программной среде fuzzyTECH (рис. 5).

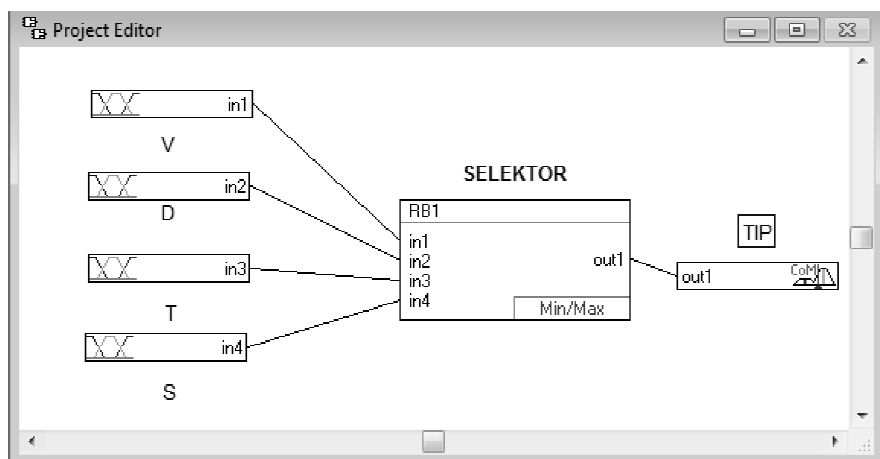


Рис. 5. Нечеткий проект «Распознавания типов объектов» в программной среде fuzzyTECH
 Fig. 5. Fuzzy project “The Object Type Recognition” in the software environment fuzzyTECH

Термы для входных лингвистических переменных определяем исходя из выбранных параметров (характеристик), необходимых для классификации типов объектов. Например, функция принадлежности термов входной переменной «дистанция до объекта» (D) имеет вид (рис. 6).

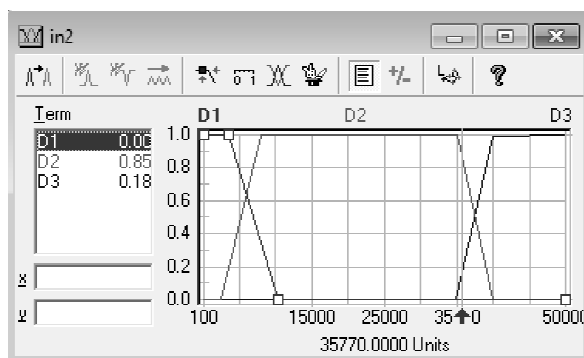


Рис. 6. Функция принадлежности лингвистической переменной «D»
 Fig. 6. The function of belonging of linguistic variable “D”

В результате проведенной классификации объектов по измеряемым параметрам, создается блок правил, определяющий значение термов выходной переменной. Данные по типам существующих объектов на основании знаний экспертов вносятся в созданный блок правил. Блок правил представляет собой логическое рассуждение «Если ..., то...». В нашем случае набору параметров (их величинам (термам)) соответствует тип наблюдаемого объекта. Блок правил разрабатываемого нечеткого проекта представлен на рис. 7.

#	IF	THEN
	in1 in2 in3 in4	DoS out1
1	V1 D1 I S1	1.00 TIP1
2	V2 D2 I S4	1.00 TIP3
3	V2 D1 I S3	1.00 TIP2
4	V3 D3 I S3	1.00 TIP4
5	V1 D3 I S3	1.00 TIP6
6	D2 I S3	1.00 TIP5
7	D1 M S3	1.00 TIP4
8		

Рис. 7. Блок правил (7 правил)
 Fig. 7. Rule block (7 rules)

Функция принадлежности выходной лингвистической переменной будет иметь вид (рис. 8).

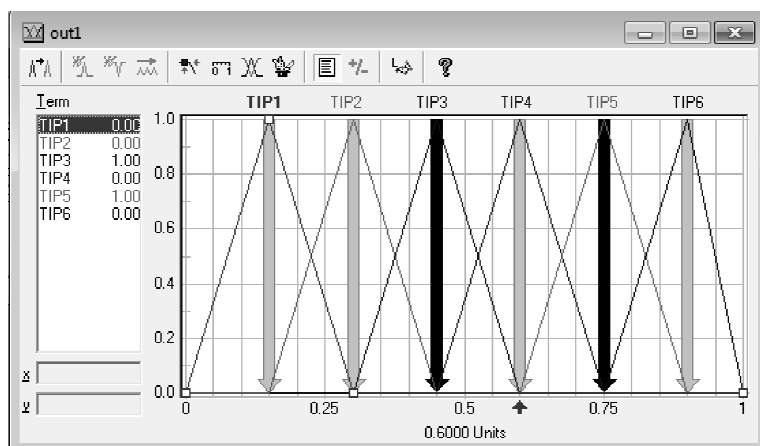


Рис. 8. Выходная переменная «TIP»
Fig. 8. Output variable "TIP"

Для повышения эффективности разработанной нечеткой модели функции принадлежности входных и выходных переменных их весовые коэффициенты выбираются исходя из предполагаемой обстановки, наличия существующих типов наблюдаемых объектов в конкретном регионе.

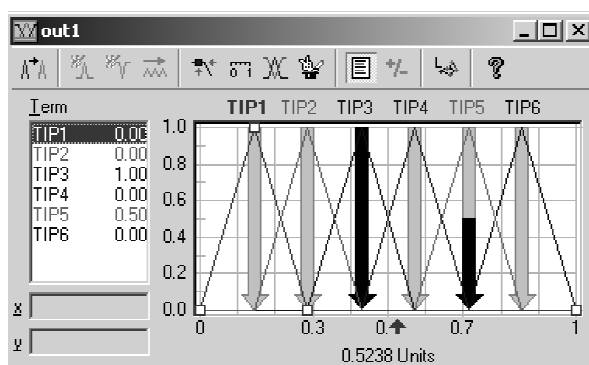


Рис. 9. Выходная переменная «TIP» (изменены весовые коэффициенты)
Fig. 9. Output variable "TIP" (weight coefficients are changed)

Исследования созданной нечеткой модели показывает, что возникают ситуации, когда однозначное определение типа объекта затруднено. Внесение изменений в весовые коэффициенты на основании знаний экспертов о нахождении в данном регионе определенных типов объектов позволяет повысить вероятность правильного распознавания (рис. 9). Для термина «TIP3» определяем коэффициент 1, а для термина «TIP5» – 0,5 (см. рис. 9). В результате наблюдаем, что тип объекта определяется как «TIP3» с вероятностью 1. Для повышения эффективности разработанных алгоритмов необходимо ввести новый измеряемый параметр, который позволит однозначно отнести наблюдаемый объект к определенному типу. Вводим дополнительную переменную «priznak». Затем вносим изменения в блок правил (изменяем правила 2, 6, 7, 8) (рис. 10):

ПРАВИЛО 2: ЕСЛИ скорость объекта V2, дальность до объекта D2, принадлежность I, площадь S4, дополнительный признак «по», то объект относится к TIP3;

ПРАВИЛО 6: ЕСЛИ дальность до объекта D2, принадлежность I, дополнительный признак TIP5, то объект относится к TIP5;

ПРАВИЛО 7: ЕСЛИ скорость объекта V2, дальность D2, принадлежность I, площадь S4, дополнительный признак TIP3, то объект относится к TIP3.

ПРАВИЛО 8: ЕСЛИ дальность до объекта D2, принадлежность I, дополнительный признак «по», то объект относится к TIP5.

При срабатывании правила 6 происходит однозначное определение типа объекта.

#	IF					THEN	
	in1	in2	in3	in4	in5	DoS	out1
1	V1	D1	I	S1		1.00	TIP1
2	V2	D2	I	S4	no	0.50	TIP3
3	V2	D1	I	S3		1.00	TIP2
4	V3	D3	I			1.00	TIP4
5	V1	D3	I	S3		1.00	TIP6
6		D2	I		TIP5	1.00	TIP5
7	V2	D2	I	S4	TIP3	1.00	TIP3
8		D2	I		no	0.50	TIP5
9		D1	M			1.00	TIP4

Рис. 10. Блок правил (9 правил)
Fig. 10. Rule block (9 rules)

Функция принадлежности выходной лингвистической переменной после внесения изменений в правила будет иметь вид (рис. 11). Оперативное внесение изменений в структуру нечеткого проекта позволяет учитывать быстроменяющуюся обстановку как появление новых типов объектов, не входящих в классификацию, так и изменение параметров существующих.

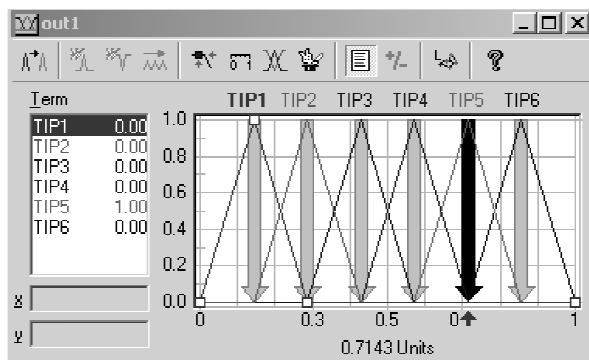


Рис. 11. Выходная переменная «TIP» (9 правил)
Fig. 11. Output variable "TIP" (9 rules)

Для внедрения разработанных алгоритмов в существующие комплексы необходима только установка дополнительного программного обеспечения, что повышает эффективность системы распознавания типов наблюдаемых объектов и не требует больших затрат.

Заключение

Системы управления комплексами слежения за объектами предполагают решение задачи распознавания типа объекта и представляют собой сложные технические системы. Создание современных систем управления комплексами слежения требует новых, нетрадиционных подходов. Предложенный метод объединения фильтрации Калмана и нечеткой логики позволяет решать задачи распознавания. Результаты исследования математических моделей фильтра Калмана и нечеткой модели «Распознавание типов объектов» показывают повышение эффективности системы управления. База правил нечеткого проекта может быть оперативно скорректирована при изменении условий наблюдения, а также при появлении новых типов объектов, не попадающих под существующую классификацию. Существующие комплексы располагают возможностью внедрения в них программного обеспечения, обеспечивающего работу системы управления, использующей элементы нечеткой логики.

Литература

1. Трауб, Дж. *Информация, неопределенность, сложность* / Дж. Трауб, Г. Васильковский, Х. Вожьянковский. – М.: Мир, 1988. – 184 с.
2. Шалыгин, А.С. *Методы моделирования управления движением беспилотных летательных аппаратов* / А.С. Шалыгин, Л.Н. Лысенко, О.А. Толпегин; под ред. А.В. Ноздрачева и Л.Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2012. – 584 с.
3. *Создание интеллектуальных систем автоматизации и управления на основе современных информационных технологий* / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2007. – № 4. – С. 13–20.
4. Бобырь, М.В. *Нечёткий цифровой фильтр для управления роботом-манипулятором* / М.В. Бобырь, М.Ю. Лунева, К.А. Ноливос // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2019. – Т. 20, № 4. – С. 244–250. DOI: 10.17587/mau.20.244-250
5. Федунов, Б.Е. *Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня для антропоцентрических объектов (примеры для пилотируемых летательных аппаратов)* / Б.Е. Федунов. – М.: Де'Либри, 2018. – 246 с.
6. Поспелов, Д.И. *Ситуационное управление: теория и практика* / Д.И. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
7. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта* / А.Н. Аверкин, И.З. Батыришин, А.Ф. Блишун и др.; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
8. Заде, Л.А. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений* / Л.А. Заде. – М.: Наука, 1974. – 167 с.
9. Беллман, Р.Э. *Принятие решений в расплывчатых условиях* / Р.Э. Беллман, Л.А. Заде // *Вопросы анализа процедуры принятия решений*. – М.: Наука, 1976. – С. 172–215.
10. Тэрано, Т. *Прикладные нечеткие системы* / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно; под ред. Т. Тэрано. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
11. Леоненков, А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH* / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.
12. Федунов, Б.Е. *Модель «Этап» для разработки облика бортовых интеллектуальных систем антропоцентрических объектов* / Б.Е. Федунов // *Онтология проектирования*. – 2012. – № 2. – С. 36–43.
13. 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 Всерос. конф.* – М.: РАН, 2012. – Т. 1. – С. 135–143.
14. Хант, Э. *Искусственный интеллект* / Э. Хант. – М.: Мир, 1978. – 558 с.
15. Кац, И.Я. *Минимаксная многошаговая фильтрация в статистически неопределенных ситуациях* / И.Я. Кац, А.Б. Куржанский // *Автоматика и телемеханика*. – 1978. – № 11. – С. 79–87.
16. Ширяев, В.И. *Синтез управления линейными системами при неполной информации* / В.И. Ширяев // *Изв. РАН. Техническая кибернетика*. – 1994. – № 3. – С. 229–237.
17. Семушин, И.В. *Устойчивые алгоритмы фильтрации – обзор и новые результаты для систем судовождения* / И.В. Семушин, Ю.В. Цыганова, К.В. Захаров // *Информационные технологии и вычислительные системы*. – 2013. – № 3. – С. 90–112.
18. Безмен, Г.В. *Функциональное диагностирование динамических систем с использованием нечетких правил анализа и принятия решений об отказе* / Г.В. Безмен, Н.В. Колесов // *Изв. РАН. Теория и системы управления* – 2011. – № 3. – С. 3–12.
19. *Об алгоритмах распознавания типов радиоэлектронных средств в бортовых комплексах разведки* / А.А. Колкк и др. // *Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки: материалы II Всероссийской НПК «АВИАТОР» (11–13 февраля 2015 г.)*. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – Т. 2. – С. 86–92.

Колкк Андрей Александрович, преподаватель 1-го факультета подготовки штурманов, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске, г. Челябинск; kandidatyra@mail.ru.

Колкк Владимир Андреевич, старший помощник руководителя полетов группы руководства полетами, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске, г. Челябинск; volodya2met@mail.ru.

Ширяев Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой систем автоматического управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; shiriaevvi@susu.ru.

Поступила в редакцию 1 августа 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr200104

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS OF AUTOMATIC RECOGNITION OF OBJECTS IN CONTROL SYSTEMS USING FUZZY LOGIC IN TERMS OF UNCERTAINTIES

A.A. Kolkk¹, kandidatyra@mail.ru,

V.A. Kolkk¹, volodya2met@mail.ru,

V.I. Shiryayev², shiriaevvi@susu.ru

¹ Russian Air Force Military Educational and Scientific Center "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", Chelyabinsk branch, Chelyabinsk, Russian Federation,

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

Introduction. The basis of modern information technology for complex automation systems in the face of uncertainty is the principle of situational management. Such technologies include the following: expert systems, neural network structures, fuzzy logic and associative memory. The development of intelligent technologies is associated with the combination of various methods of processing knowledge. This area provides increased performance, reduced knowledge. It is supposed that fuzzy logic and expert systems can be combined. **Aim.** Consider the task of improving recognition algorithms in control systems by combining optimal filtering methods and fuzzy logic at the stage of secondary processing of information about object parameters. **Materials and methods.** For preliminary processing, we will consider Kalman filters (FC), for the implementation of which in real time less computing resources are required in comparison with guaranteed estimation algorithms. In the proposed method, we apply FC Bank. We carry out mathematical modeling in the Mathcad 14. In the FuzzyTECH software environment, a fuzzy project "Recognizing the type of an object" is being developed. Development of a fuzzy model takes place in several stages. Firstly, the presentation of input variables in terms of linguistic variables. Secondly, relying on expert knowledge, we define terms for linguistic variables. Thirdly, the creation of a block of rules. Fourth, a study of the created fuzzy project. **Results.** The mathematical modeling of the FC in the devices for tracking the parameters of objects in the process of recognition in the Mathcad 14 software environment showed the possibility of using a filter bank in the considered devices. Algorithms for recognizing object types using fuzzy logic have been created and studied. **Conclusion.** The created control system algorithms, combining Kalman filtering and fuzzy logic, increase the efficiency of the recognition system.

Keywords: information technologies, object type recognition, Kalman filtering, fuzzy logic.

References

1. Traub Dzh., Vasil'kovskiy G., Vozh'nyakovskiy H. *Informaciya, neopredelennost', slozhnost'* [Information, Uncertainty, Complexity]. Moscow, Mir Publ., 1988, 184 p.
2. Shalygin A.S., Lysenko L.N., Tolpegina O.A. *Metody modelirovaniya upravleniya dvizheniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Methods of Modeling Motion Control of Unmanned Aerial Vehicles]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2012, 584 p.
3. Makarov I.M., Lokhin V.M., Man'ko S.V., Romanov M.P. [Creation of Intelligent Automation and Control Systems Based on Modern Information Technologies]. *Mechatronics, Automation, Control*, 2007, no. 4, pp. 13–20. (in Russ.)
4. Bobyr M. V., Luneva M. Yu., Nolivos K. A. [Fuzzy Digital Filter to Control a Robot Manipulator]. *Mechatronics, Automation, Control*, 2019, vol. 20, no. 4, pp. 244–250. (in Russ.) DOI: 10.17587/mau.20.244-250
5. Fedunov B.E. *Bortovye intellektual'nye sistemy takticheskogo urovnya dlya antropotsentricheskikh ob'ektov (primery dlya pilotiruemykh letatel'nykh apparatov)* [Onboard Intelligent Systems of Tactical Level for Anthropocentric Objects (Examples for Manned Aircraft)]. Moscow, De' Libri Publ., 2018, 246 p.
6. Pospelov D.I. *Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika* [Situational Control: Theory and Practice]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 288 p.
7. Averkin A.N., Batyrshin I.Z., Blishen A.F., Silov V.B., Tarasov V.B. *Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta* [Fuzzy Sets in Control Models and Artificial Intelligence]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 312 p.
8. Zadeh L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Making Approximate Decisions]. Moscow, Nauka Publ., 1974, 167 p.
9. Bellman R.E., Zadeh L.A. *Prinyatie reshenii v rasplyvchatykh usloviyakh* [Decision-Making in Vague Conditions]. *V kn. "Voprosy analiza procedury prinyatiya resheniy"*. [In the Book "Issues of decision-Making Procedure Analysis"]. Moscow, Nauka Publ., 1976, pp. 172–215.
10. Terano T., Asai K., Sugeno M. *Prikladnye nechetkie sistemy* [Applied Fuzzy System]. Moscow, Mir Publ., 1993, 368 p.
11. Leonenko A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy Modeling in MATLAB and FuzzyTECH]. St. Petersburg, BHV Petersburg Publ., 2005, 736 p.
12. Fedunov B.E. [Model "Stage" for the Development of Image-Board Intelligent Systems of Anthropocentric Objects]. *Design Ontology*, 2012, no. 2, pp. 36–43. (in Russ.)
13. Kolkk A.A. [Improvement of Algorithms for the Estimation of Radio Signal Parameters with the Use of Fuzzy Logic during the Secondary Processing of Information in the Aviation Complexes of Radio-Electronic Suppression]. *Novye tekhnologii: materialy IX Vserossiyskoj konferentsii. T. 1* [New Technologies: Materials of the IX All-Russian Conference. Vol. 1]. Moscow, RAN, 2012, pp. 135–143. (in Russ.)
14. Hunt. E. *Iskusstvennyj intellekt* [Artificial Intelligence]. Moscow, Mir Publ., 1978, 558 p.
15. Katz J.I., Kurzhanski A.B. [Minimax Multistep Filtering in Statistically Uncertain Situations]. *Automatic Equipment and Telemechanics*, 1978, no. 11, pp. 79–87. (in Russ.)
16. Shiryayev V.I. [Synthesis of Control of Linear Systems with Incomplete Information]. *News of RAS. Technical Cybernetics*, 1994, no. 3, pp. 229–237. (in Russ.)
17. Semushin I.V., Tsyganova Yu.V., Zakharov K.V. [Robust Filtering Algorithms – Overview and New Results for Navigation Systems]. *Information Technology and Computing*, 2013, no. 3, pp. 90–112. (in Russ.)
18. Bezmen G.V., Kolesov N.V. [Functional Diagnostics of Dynamic Systems Using Fuzzy Rules of Analysis and Decision-Making on Failure]. *News of RAS. Theory and Control Systems*, 2011, no. 3, pp. 3–12. (in Russ.)
19. Kolkk A.A., et al. [On Recognition Algorithms for Types of Electronic Equipment in Airborne Reconnaissance Systems]. *Aktual'nie voprosy issledovaniy v avionike: teoriya, obsluzhivanie, razrabotki. Materiali II Vserossiyskoj NPK "AVIATOR" (11–13 fevralya 2015 g.). T. 2*. [Actual Research Issues in

Avionics: Theory, Maintenance, Development. Materials of the II All-Russian NPK "AVIATOR" Vol. 2]. Voronezh, VUNC Air Force "VVA", 2015, pp. 86–92. (in Russ.)

Received 1 August 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Колкк, А.А. Совершенствование алгоритмов распознавания типов объектов в системах управления с применением нечеткой логики в условиях неопределенности / А.А. Колкк, В.А. Колкк, В.И. Ширяев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 39–50. DOI: 10.14529/ctcr200104

FOR CITATION

Kolkk A.A., Kolkk V.A., Shiryayev V.I. Development of Algorithms of Automatic Recognition of Objects in Control Systems Using Fuzzy Logic in Terms of Uncertainties. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 39–50. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200104
