

**Виноградов Павел Владимирович** – e-mail: clairvoyant1977@mail.ru; тел.: 89057680235; к.т.н.; ведущий инженер-конструктор.

**Sokolov Sergey Mikhaylovich** – Keldysh Institute for Applied Mathematics Russian Academy of Sciences; e-mail: sokolsm@keldysh.ru; 4, Miusskaya sq., Moscow A-47, 125047, Moscow, Russia; phone: +79161220113; head of robotics and mechatronics division; dr. of phys.-math. sc.; professor.

**Boguslavsky Andrey Alexandrovich** – e-mail: anbg74@mail.ru; phone: +79167379448; dr. of phys.-math. sc.; senior scientist.

**Fedorov Nikolay Grigor'evich** – JSC Ramenskoe design company; e-mail: fedng1@yandex.ru; 2, Guryeva street, Moscow region, Ramenskoe, 140103, Russia; phone: +79067158504; head of advanced developments division.

**Vinogradov Pavel Vladimirovich** – e-mail: clairvoyant1977@mail.ru; phone: +79057680235; cand. of eng. sc.; leading design engineer.

УДК 004.89

**Н.В. Ким, Н.Е. Бодунков, Д.В. Клецов**

### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ ОПИСАНИЙ ОБЪЕКТОВ ИНТЕРЕСА ДЛЯ СТЗ РТК**

*Рассмотрена проблема функционирования систем технического зрения (СТЗ) автономного робототехнического комплекса (РТК) в неопределенных и изменяемых условиях. Показано, что решение задач наблюдения: обнаружения или распознавания объектов интереса основано на сравнении запомненных заранее эталонных описаний объектов и принимаемых СТЗ реальных (текущих) изображений. При этом эффективность решений в изменяемых условиях определяется необходимостью предварительной подготовки большого числа эталонных описаний объектов (для различных условий наблюдения). Для сокращения требуемого начального набора эталонных описаний предлагается новый подход к формированию адаптивных описаний объектов интереса на основе использования нейронечетких систем. Нечеткая система состоит из нечетких правил. Правило устанавливает соответствие между определенными условиями наблюдения и эталонными описаниями. Набор эталонов формирует соответствующую базу знаний (БЗ). Такой подход может обеспечить расширение функциональных возможностей существующих СТЗ РТК в неопределенных условиях и предоставляет возможность дополнительного обучения уже сформированных описаний. Рассматриваются вопросы использования адаптивных описаний при решении целевой задачи навигации РТК, структура адаптивных описаний, способ представления БЗ описаний. Показано, что наиболее подходящим способом представления знаний для задачи формирования БЗ адаптивной СТЗ является фреймовое. На основе фреймовых описаний была построена тестовая БЗ, на примере которой была показана работоспособность предлагаемого подхода.*

*Автономные РТК; системы технического зрения; адаптивные описания; нейронечеткие системы; фреймы.*

**N.V. Kim, N.E. Bodunkov, D.V. Klestov**

### **DEVELOPMENT OF THE ADAPTIVE OBJECTS DESCRIPTIONS FOR THE COMPUTER VISION OF ROBOTIC SYSTEMS**

*Problem of technical vision systems (TVS) of autonomous robotic complex (RTC) functioning in uncertain and changing conditions is considered in the paper. It is shown that the solution of the observation tasks, such as detection and recognition of objects of interest (OI), is based on a comparison of pre-stored reference object descriptions and actual (current) images received by*

*the TVS. The decision making effectiveness in a changing environment is determined by the need to prepare in advance a large number of reference objects descriptions (for different observation conditions). To reduce the required initial set of reference descriptions a new approach to the development of adaptive descriptions of the OI using the neuro-fuzzy systems is suggested. Fuzzy system consists of fuzzy rules. The rule establishes a correspondence between certain observation conditions and reference descriptions. Set of references forms an appropriate knowledge base (KB). This approach can provide enhanced functionality of existing TVS of RTC in uncertain environments and provides an opportunity to additional training of the already formed descriptions. Use of adaptive descriptions in the navigation task of the RTC, structure of the adaptive descriptions, a way of KB representation the article deals with. It is shown that frame is the most appropriate way of knowledge representation to form a KB of adaptive TVS. The test KB based on the frame descriptions was built. In example of this KB efficiency of the proposed approach was shown.*

*Autonomous robotic complex; technical vision systems; adaptive descriptions; neuro-fuzzy systems, frames.*

**Введение.** В настоящее время одной из важнейших задач при разработке робототехнических комплексов (РТК) является обеспечение их длительного автономного функционирования в реальных условиях. При этом возрастает роль бортовой системы технического зрения (СТЗ), призванной решать задачи обнаружения, распознавания объектов интереса (ОИ), наведения и навигации по наземным ориентирам [1–3] в неопределенных и изменяемых условиях наблюдения. Принятие решений об обнаружении или распознавании ОИ (или ориентира) основано на сопоставлении получаемых изображений с описаниями ОИ, представленных в соответствующих словарях признаков или в виде эталонов, закладываемых в память СТЗ РТК заранее [5–9].

Недостаток такого подхода заключается в том, что в реальных условиях из-за действия дестабилизирующих факторов возникают различия между получаемыми изображениями ОИ и соответствующими эталонами, не позволяющие надежно решать поставленные задачи.

К подобным факторам можно отнести следующие:

- ◆ неопределенность и изменчивость характеристик наблюдаемой сцены;
- ◆ изменения освещенности, искажающие оптические эффекты;
- ◆ частичное или полное загораживание ОИ;
- ◆ изменчивость признаков ОИ и пр.

Например, при изменении освещенности наблюдаемые характеристики ориентиров, служащих для решения задач визуальной навигации, могут изменяться, что, при их сопоставлении с имеющимися эталонными описаниями, приводит к возрастанию ошибок типа «ложная тревога» или «пропуск цели».

Таким образом, имеющиеся описания (признаки, эталоны) ОИ должны адаптироваться к изменяемым реальным условиям наблюдения.

В рамках исследуемой темы под описаниями мы понимаем совокупность значений признаков конкретного объекта. Под адаптивными описаниями понимаются значения признаков, которые являются функциями от некоторых аргументов, в частности, от условий наблюдения.

Одним из возможных решений проблемы адаптации описаний можно считать использование набора словарей признаков ОИ, соответствующих различным наблюдаемым условиям. Набор таких словарей формирует базу данных (БД), в которой определенным условиям и объектам будут соответствовать конкретные значения признаков или эталонов. Например, значения математического ожидания яркости некоторого объекта утром, днем и вечером. Существенным недостатком такого подхода является сложность получения, хранения и использования большого количества эталонов.

Другой подход основан на использовании моделей изображений ОИ. Здесь изображения ОИ моделируются с учетом текущих условий наблюдения на основе общих физических законов, например, моделей прохождения, рассеивания и отражения света. Очевидно, что различная сложность и точность моделей будет давать различную точность распознавания в изменяемых условиях. При этом, с увеличением точности математической модели (подробности описания протекающих процессов) будет возрастать вычислительная нагрузка на бортовой вычислитель.

В работе рассматривается новый подход к формированию адаптивных описаний на основе использования нейронечетких систем. Данный подход является более выгодным, с точки зрения вычислительной экономичности, по сравнению с рассмотренными подходами.

Основной идеей подхода является использование нечетких правил в качестве адаптивных описаний. Данный подход позволит сократить априорный объем эталонных описаний, объединить различные типы описаний в единую систему, использовать ситуационную информацию при формировании описаний и решении целевых задач.

В то же время для решения ряда задач СТЗ эффективным может быть использование не только описаний ОИ, но и описаний межобъектных связей - отношений (пространственных, временных, каузальных и пр.) [10–12]. Подобные описания позволят расширить круг решаемых задач РТК, повысить эффективность наблюдений в сложных, неопределенных и изменяемых условиях.

Формирование описаний межобъектных связей, существенных для решения поставленных целевых задач, является важным шагом к пониманию наблюдаемых ситуаций. Использование межобъектных связей позволит использовать при решении целевых задач косвенные, контекстные признаки, поведенческие признаки объектов. Например, при решении навигационных задач могут использоваться совокупности малоинформативных ориентиров [10], каждый из которых не позволяет удовлетворительно решить требуемую навигационную задачу.

Учет межобъектных связей позволит моделировать визуальные признаки объектов в соответствии с условиями наблюдений, т.е. уточнять текущие описания ОИ.

Таким образом, одной из важных задач создания СТЗ РТК является развитие методов адаптации описаний ОИ и соответствующих алгоритмов наблюдения на основе понимания наблюдаемых ситуаций.

Использование предлагаемых алгоритмов позволит повысить эффективность решаемых задач, в частности точность и производительность визуальной навигации, в неопределенных и изменяемых условиях наблюдения.

#### **Постановка задачи.**

Разработка технологии формирования адаптивных описаний объектов, включающая:

- ◆ алгоритм использования адаптивных описаний объектов при решении целевых задач наблюдения СТЗ РТК;
- ◆ структуру адаптивных описаний объектов;
- ◆ способ представления базы знаний (БЗ) адаптивных описаний.

#### **Алгоритм использования адаптивных описаний объектов при решении целевых задач наблюдения СТЗ РТК.**

В общем случае целевыми задачами (ЦЗ) наблюдения являются:

- ◆ поиск подвижных малоразмерных объектов;
- ◆ поиск стационарных объектов;
- ◆ наведение;
- ◆ решение навигационных задач и др.

Примем, что решаемой ЦЗ является навигационная задача, т.е. определение положения РТК по наземным ориентирам, координаты которых известны и заложены в цифровую карту местности (ЦКМ).

Фрагмент алгоритма решения данной задачи представлен на рис. 1.

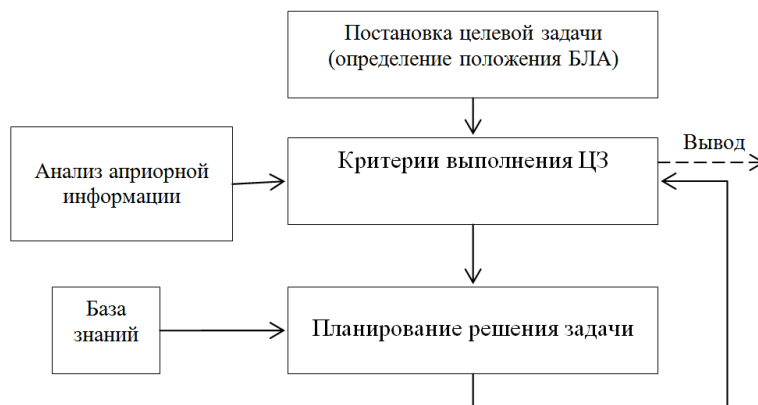


Рис. 1. Фрагмент алгоритма решения ЦЗ

После формирования ЦЗ производится выбор и проверка критерия ее выполнения.

Основным критерием, определяемым из ЦЗ навигации, является требуемая точность оценки координат РТК:

$$\sigma_k \leq \sigma_{k \text{ тр}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_k$  – СКО координат объекта интереса,  $\sigma_{k \text{ тр}}$  – требуемая ошибка определения координат.

Текущая точность оценки координат БЛА рассчитывается на основе анализа априорной информации, в частности, данных о работоспособности канала спутниковой навигации, показаний ИНС и пр.

Если текущее значение точности не соответствует требуемой, алгоритм переходит к этапу планирования решения ЦЗ.

Под планированием понимается выбор алфавита классов ОИ, признаков и соответствующих алгоритмов распознавания ОИ, а также формирования стратегии решения ЦЗ.

В рамках решаемой задачи алфавит классов объектов – это ориентиры, которые расположены в исследуемом регионе. Признаками объектов, которые необходимо идентифицировать для обнаружения ОИ, могут быть признаки (описания объектов), изменяемые от условий наблюдения. В этом случае требуется **формирование адаптивных описаний** и использование соответствующих алгоритмов распознавания.

Необходимо отметить, что некоторые из ориентиров могут быть недостаточно информативными (например, прямолинейный участок дороги). В этом случае, для решения ЦЗ можно использовать стратегии комплексного использования нескольких ориентиров или поиска более информативного ориентира и пр.

Предлагаемая технология формирования адаптивных описаний заключается в использовании базы данных (БД) эталонных описаний и базы знаний (БЗ), которая содержит правила выбора и адаптации этих описаний к изменяемым условиям наблюдений.

Предполагается, что база знаний может содержать избыточное количество информации, при этом ее структура должна содержать правила, по которым будет производиться выбор информации, необходимой для решения целевой задачи.

На рис. 2 показан алгоритм решения задачи визуальной навигации, использующий адаптивные описания ориентиров.



Рис. 2. Алгоритм решения задачи визуальной навигации

Первые два этапа алгоритма служат для формирования рабочего алфавита классов ОИ с учетом особенностей целевой задачи и региона, в котором функционирует РТК. На этих этапах формируется алфавит классов объектов интереса (в рассматриваемом случае – ориентиров), необходимых для решения поставленной задачи.

Далее для выбранных ОИ производится формирование рабочего словаря признаков [13–14].

Если текущие условия существенно отличаются от условий, в которых было получено имеющееся эталонное описание, то необходимо переходить к процедуре формирования адаптивных описаний.

На этом этапе для каждого ориентира формируется эталонное описание, учитывающее текущие условия наблюдения.

На следующем этапе на основе полученных описаний производится распознавание искомых ОИ. Если найденные ориентиры позволяют удовлетворительно решить ЦЗ, то производится «вывод» результатов.

Если информативность найденных ориентиров недостаточна для решения ЦЗ, например, по условию (1), то ищется решение с помощью использования набора ОИ. В этом случае формируются описания межобъектных отношений, которые используются для решения ЦЗ (поиска схожих описаний на ЦКМ [15–16]).

Таким образом, предлагаемый иерархический алгоритм визуальной навигации, использующий адаптивные описания ориентиров, состоит из 4 этапов. При этом формирование описаний производится на 3 этапе, выходом которого являются описания (значения признаков, адаптированные эталоны) ОИ адаптированные к текущим условиям.

Рассмотрим подробнее структуру адаптивных описаний ОИ.

**Структура адаптивных описаний объектов.** В общем случае нечеткую систему можно представить в виде набора нечетких правил:

**ЕСЛИ А И В, ТО С;**

При формировании адаптивных описаний в левой части правила (**ЕСЛИ**) будут содержаться лингвистические переменные, описывающие условия наблюдения, а в правой (**ТО**) – вариант описания, соответствующий данным условиям. При этом, описание может быть представлено сразу в параметрическом виде (значениях признаков ориентиров) или в виде закона изменения существующих параметров или эталонных изображений.

Рассмотрим задачу визуальной навигации по площадным или линейным ориентирам, таким как поле, дорога и т.п. Будем производить распознавание на основе расчета признаков МО и СКО блочных фрагментов  $n \times n$  искомым объектов. Например, при  $n=8$ .

Словарь классов распознаваемых объектов (ориентиров) обозначается как

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_M), \quad (2)$$

а вектор признаков –

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n, \dots, y_N), \quad (3)$$

где  $M$  – количество распознаваемых классов,  $N$  – количество анализируемых признаков.

Принятие решения о принадлежности фрагмента изображения к тому или иному классу производится на основании определения области, к которой относятся признаки, полученных изображений. Статистическая связь между полученными значениями признаков и классами определяется условными плотностями распределения  $p(Y|x_m)$ .

При распознавании наземных ориентиров с учетом текущих условий наблюдения условная плотность распределения примет вид –  $p(Y|x_m, Q_r)$ , где  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_r, \dots, q_R)$  – вектор условий наблюдения [12]. Под условиями наблюдения могут пониматься различные факторы, например, характеристики освещенности наблюдаемой сцены, время года, регион и т.п.

Можно выделить следующие этапы методики построения предлагаемой нечеткой системы:

1. Определение общих требований (например, определение словаря классов и требований к точности распознавания).
2. Определение диапазона возможных условий наблюдения (например, наблюдение может проводиться в период «Лето» – «Осень»).
3. Определение требований к обучающей выборке по объему и качеству (объем выборки зависит от требований по точности, а качество от диапазона условий наблюдения – обучающая выборка должна входить в диапазон).
4. Получение выборки (получение эталонных изображений для каждого класса объектов и условий). Выборка может получаться путем моделирования или в результате реальной съемки.
5. Построение условных плотностей распределения  $p(Y|x_m, Q_r)$  по полученным выборкам (например, на основе парзеновского окна или  $k$ -ближайших соседей).
6. Составление набора нечетких правил (помимо непосредственного формулирования правил, этот этап включает в себя формирование лингвистических переменных и их функций принадлежности).

Пример нечеткого правила представлен на рис. 3.

В нечетком правиле некоторому набору условий поставлена в соответствие конкретная плотность распределения. При этом условия записываются в виде нечетких значений, например: время года – «Лето», «Зима» и т.п., время суток – «утро», «день», «вечер», погодные условия – «дождь», «ясно» и т.д.

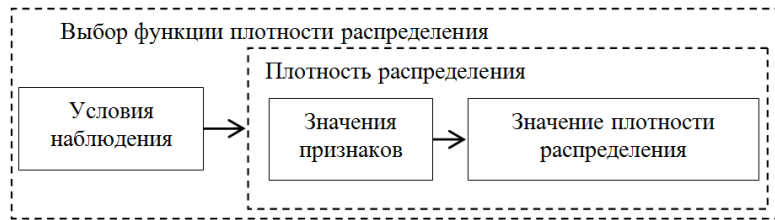


Рис. 3. Структура нечеткого правила

Во время работы системы в реальных условиях наблюдения может сработать одновременно несколько правил, и в итоге будет сформирована результирующая плотность распределения, усредняющая плотности, заданные в правилах.

Одной из важнейших особенностей предлагаемого подхода является возможность обучить уже сформированную систему. Во время обучения выбирается некоторое тестовое изображение. Для этого изображения производится описание условий и формируется результирующая плотность распределения. На основе этой плотности производится распознавание. Если точность распознавания неудовлетворительная, то происходит коррекция нечетких правил.

Таким образом, в качестве структуры адаптивных описаний предлагается использовать нейронечеткую систему, правила которой формируют, так называемую, базу знаний (БЗ).

**Способ представления базы знаний (БЗ) адаптивных описаний.** Важным вопросом является проблема построения системы хранения знаний. Классическим решением этой проблемы является использование баз знаний, в которых пользователь размещает всю необходимую с экспертной точки зрения информацию в наиболее удобном для дальнейшего приложения виде.

На начальном этапе проектирования баз знаний наиболее важной проблемой является выбор способа представления знаний в БЗ для описания ОИ.

В решаемой задаче в качестве знаний выступают нечеткие правила, по которым строятся функции распределения признаков в зависимости от условий наблюдения. Эти правила могут быть представлены следующими способами [17–20]:

- ◆ логические предикаты;
- ◆ продукции;
- ◆ семантические сети;
- ◆ фреймы, объектно-ориентированный подход;
- ◆ нейронечеткие системы.

В работе в качестве основного носителя знаний используются фреймы. Этот выбор обусловлен тем, что фреймы позволяют объединить как знания, так и правила обработки этих знаний в единой структуре, объекты описанные фреймами могут содержать различные типы описаний (например, эталонные изображения, массивы плотностей распределения или некоторые математические модели), при этом не накладываются строгие ограничения на тип выхода БЗ. Кроме этого на основе фреймов может быть реализован любой другой способ представления. Отметим, что поскольку фреймы могут включать в себя процедуру вывода, не требуется отдельной машины логического вывода. Т.е. логический вывод может быть реализован отдельными фреймами, что обеспечивает гибкость при построении базы знаний.

Само представление заключается в том, что фреймами являются каждое отдельное условие наблюдения и ОИ. Каждый фрейм содержит список слотов (атрибутов) фрейма. Слоты фрейма-условия содержат степени достоверности соответ-

ствующих условий, полученные методами нечёткого вывода. Фреймы-объекты содержат наборы правил выбора эталона. Также каждый фрейм-объект имеет процедуру, реализующую процедуру нечеткого выбора. В процессе наблюдения определяется принадлежность текущего условия наблюдения к имеющимся фреймам-условиям, и для каждого фрейма-объекта формируется результирующий эталон, адаптированный под конкретные условия.

На рис. 4 представлен пример набора правил, реализованных в виде фреймов.

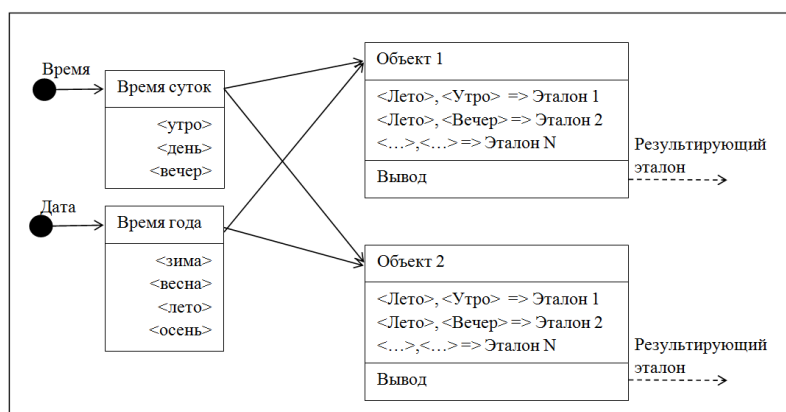


Рис. 4. Пример применения фреймов для представления адаптивных описаний

Здесь приведены правила, соответствующие следующим комбинациям условий:

- 1) «День» и «Лето»;
- 2) «Вечер» и «Лето».

Данные в фреймах-условиях формируются с помощью методов нечёткого вывода с заранее заданными функциями принадлежности на основе текущей информации об условиях наблюдения. Например, если показания часов 19.08.2015 15:43, то степень достоверности слота «День» — 0,4, а слота «Вечер» — 0,6.

Приведём пример логического вывода, реализованного в работе:

1) На фреймы «Время суток», «Время года», «Погодные условия» в слоты «Значение» поступает информация: (Date = 19 февраля 2015, Time = 16ч 43м 20с, P = 101hPa, H = 50 %, ...)

2) Процедуры этих фреймов делают преобразование входной информации в значения достоверности каждого отдельного условия, которые представлены отдельными слотами фреймов-условий и выдают ссылку на конкретный слот, наиболее достоверный.

Время года	Время суток	Погодные условия
Зима — 1.0	Ночь — 0.0	Ясно — 0.9
Весна — 0.0	Утро — 0.0	Легкая дымка — 0.1
Лето — 0.0	День — 0.4	Туман — 0.0
Осень — 0.0	Вечер — 0.6	

3) Активизируются слоты фрейма-объекта, соответствующие полученной комбинации условий. Эти же слоты осуществляют вывод заложенных в них параметров распределений признаков или эталонов.

4) В каждом фрейме-объекте активизируется слот вывода, который реализует механизм нечеткого вывода, а по сути, формирует результирующий (адаптированный) эталон ОИ.



Для оценки работоспособности предлагаемого подхода был проведен эксперимент по распознаванию площадных ориентиров (лес, поле озеро) на тестовом изображении (рис. 6). Условно изображение было смоделировано для следующих условий наблюдения: время – 16:00, время года – лето, регион – Подмосковье.

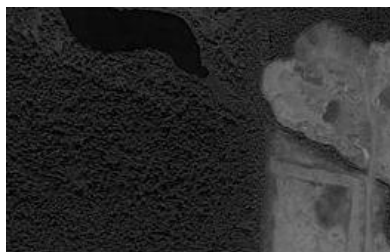


Рис. 6. Тестовое изображение

На основе предварительно подготовленных эталонных изображений распознаваемых объектов (леса, озера, поля) в различное время суток (днем – в 12:00 и вечером – в 18:00) были построены условные плотности распределения признаков математического ожидания и дисперсии яркости. Полученные плотности рассматриваются как эталонные значения признаков объектов.

Далее на основе фреймового представления знаний была сформирована тестовая БЗ, нечеткие правила которой устанавливают соответствие между условиями наблюдения и определенным набором признаков (плотностей распределения). На рис. 5 приведены примеры нечетких правил.

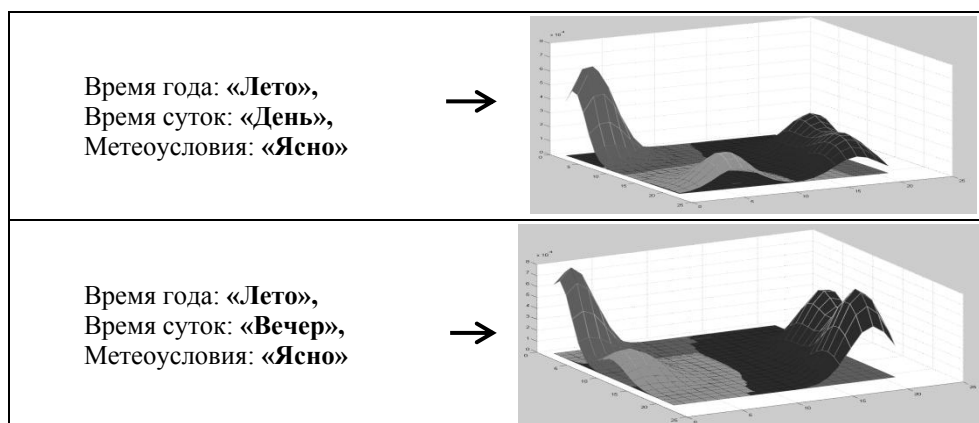


Рис. 5. Пример нечетких правил

В левой части правил содержатся нечеткие описания условий наблюдения: времени года, времени суток, метеоусловий. В базе знаний эти описания представлены фреймами-условиями.

В правой части правил находится набор эталонных плотностей распределения признаков искомых объектов для соответствующих нечетких условий наблюдения. При этом в БЗ правила и эталонные плотности для каждого объекта содержатся во фреймах-объектах.

На рис. 7,а,б показаны результаты распознавания леса, поля и озера, при плотностях распределения вероятности обучающих изображений, а на рис. 7,в при результирующей плотности распределения, полученной в результате работы нечеткой системы.

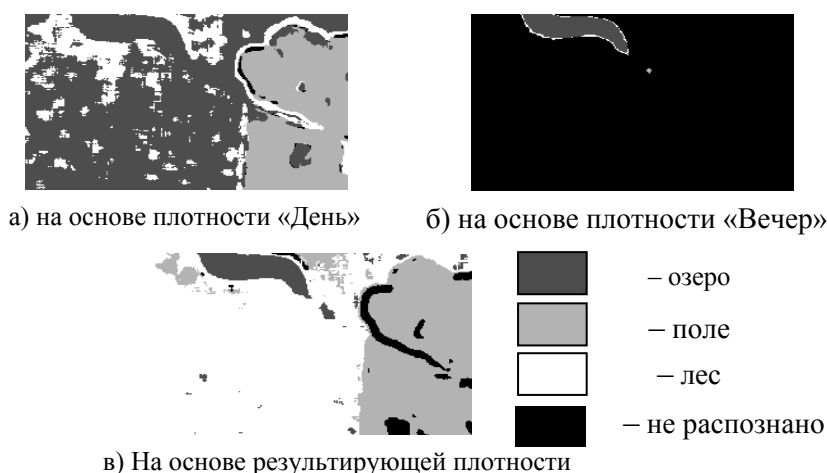


Рис. 7. Эксперименты по распознаванию с различными плотностями распределения

Так как время получения тестового изображения (16:00) отличается от времени эталонных (12:00 и 18:00), результаты распознавания непосредственно эталонными плотностями не дают удовлетворительного результата (рис. 7,а,б).

При этом во фреймах-объектах срабатывают одновременно два правила, но с разным весом. Функция вывода фрейма считает взвешенную сумму двух эталонных плотностей и формирует результирующую плотность для соответствующего объекта.

В табл. 1 представлены численные значения результатов распознавания.

Таблица 1

**Результаты распознавания**

	Лес	Поле	Озеро
Плотность «День»	10 %	95 %	90 %
Плотность «Вечер»	5 %	0 %	90 %
Результирующая плотность	90 %	90 %	90 %

Таким образом, предложенная методика использования нечетких систем при распознавании площадных ориентиров была реализована на базе фреймовых описаний и показала свою эффективность в задаче распознавания площадных ориентиров.

**Выводы.** В настоящее время актуальной является проблема обеспечения длительного автономного функционирования РТК.

Для подобных РТК возникает необходимость использования новых принципов построения эталонных описаний ОИ с учетом возможных изменений условий наблюдений. В работе предложена методика формирования адаптивных описаний ОИ на основе использования нечетких правил. Наиболее подходящим способом представления знаний для задачи формирования БЗ адаптивной СТЗ является фреймовое. На основе фреймовых описаний была построена тестовая БЗ, на примере которой была показана работоспособность предлагаемого подхода.

Показано, что предлагаемый подход является реализуемым и обеспечивает поиск и распознавание наземных ОИ в широком диапазоне изменения условий освещенности при ограниченном наборе исходных эталонных описаний ОИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мубаракшин Р.В., Ким Н.В., Красильщиков М.Н., Саблин Ю.А., Шингирий И.П. Бортовые информационно-управляющие средства оснащения летательных аппаратов: Учебник / Под ред. Красильщикова М.Н. – М.: Изд-во МАИ, 2003. – 380 с.
2. Веремеенко К.К., Желтов С.Ю., Ким Н.В. и др. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / Под ред. М.Н. Красильщикова, Себрякова Г.Г. – М.: Физматлит, 2009. – 556 с.
3. Leishman RC, McLain TW, Beard RW. Relative Navigation Approach for Vision-Based Aerial GPS-Denied Navigation // J of Intelligent & Robotic Systems. – 2014. – № 74(1–2). – P. 97-111.
4. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. – М.: Физматкнига, 2010. – 689 с.
5. Lin F., Lum K.Y., Chen B.M., Lee T.H. Development of a vision-based ground target detection and tracking system for a small unmanned helicopter // Science in China Series F: Information Sciences. – 2009. – № 52(11). – P. 2201-2215.
6. Sigall, Ying Zhu<sup>3</sup>, Dorin Comaniciu, Michael Black. Tracking Complex Objects Using Graphical Object Models // Complex Motion. – 2007. – P. 223-234.
7. Cesetti A., Frontoni E., Mancini A., Zingaretti P., Longhi S. A Vision-Based Guidance System for UAV Navigation and Safe Landing using Natural Landmarks // J of Intelligent and Robotic Systems. – 2010. – № 57 (1–4). – P. 233-257.
8. Yilmaz A., Javed O., Shah M. Object tracking: A survey // J ACM Computing Surveys CSUR. – 2006. – № 38(4): article 13.
9. Forsyth D., Ponce J. Computer Vision: A Modern Approach. Prentice Hall. – 2004.
10. Ким Н.В., Кузнецов А.Г. Автономная навигация БЛА на основе обработки и анализа видовой информации // Известия КБНЦ РАН. – 2011. – № 1.
11. Osipov G.S., Smirnov I.V., Tikhomirov I.A. Formal methods of situational analysis: Experience from their use // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. ACM Press. – 2012. – № 46 (5). – P. 183-194.
12. Kim N.V., Bodunkov N.E. Adaptive Surveillance Algorithms Based on the Situation Analysis // Computer Vision in Control Systems. – 2 edit. Margarita N. Favorskaya, Lakhim C. Jain. Springer, 2015. – P. 169-200.
13. Li X., Hu W., Shen C., Zhang Z., Dick A., Hengel AVD. A survey of appearance models in visual object tracking // J ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST). – 2013. – № 4(4): article 58.
14. Ulman S. High-Level Vision: Object Recognition and Visual Cognition. MIT Press. – 1996.
15. Tulum K., Durak U., Yder S.K. Situation aware UAV mission route planning. Aerospace conference, 2009 IEEE: 1-12.
16. Dietterich T.G. Ensemble learning. The Handbook of Brain Theory and Natural Networks. – 2nd edit. Cambridge, MA: MIT Press. – 2002.
17. Forman G. Tackling concept drift by temporal inductive transfer // 29th annual Int ACM SIGIR Conf on Research and development in information retrieval. – 2006. – P. 252-259.
18. Forman G. A pitfall and solution in multi-class feature selection for text classification // 21st Int Conf on Machine learning ICML '04 38. – 2004.
19. Liedtke C.E., Grau O., Growe S. Use of explicit knowledge for the reconstruction of 3-D object geometry // Int. Conf. on Computer analysis of images and patterns. – 1995. – P. 580-587.
20. Lidtke C.E., Buckner J., Grau O. A system for the knowledge based interpretation of remote sensing data. – 3-d Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition. – 1997. – Vol. 2. – P. 313-320.

REFERENCES

1. Mubarakshin R.V., Kim N.V., Krasil'shchikov M.N., Sablin Yu.A., Shingiriy I.P. Bortovye informatsionno-upravlyayushchie sredstva osnashcheniya letatel'nykh apparatov [On-Board information and control the means of equipping aircraft]: Uchebnik, Pod red. Krasil'shchikova M.N. [Textbook, Under the edit. krasil'shchikova M.N.]. Moscow: Izd-vo MAI, 2003, 380 p.
2. Veremeenko K.K., Zheltov S.Yu., Kim N.V. i dr. Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii v zadachakh navigatsii i navedeniya bespilotnykh manevrennykh letatel'nykh apparatov [Modern information technologies in problems of navigation and guidance maneuverable unmanned aircraft], Pod red. M.N. Krasil'shchikova, Sebr'yakova G.G. [Edited by Krasil'shchikova M.N., Sebr'yakov G.G.]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 556 p.

3. *Leishman RC, McLain TW, Beard RW.* Relative Navigation Approach for Vision-Based Aerial GPS-Denied Navigation, *J of Intelligent & Robotic Systems*, 2014, No. 74 (1–2), pp. 97-111.
4. *Vizil'ter Yu.V., Zheltov S.Yu.* Obrabotka i analiz izobrazheniy v zadachakh mashinnogo zreniya [Processing and image analysis in machine vision]. Moscow: Fizmatkniga, 2010, 689 p.
5. *Lin F., Lum K.Y., Chen B.M., Lee T.H.* Development of a vision-based ground target detection and tracking system for a small unmanned helicopter, *Science in China Series F: Information Sciences*, 2009, No. 52 (11), pp. 2201-2215.
6. *Sigall I, Ying Zhu3, Dorin Comaniciu, Michael Black.* Tracking Complex Objects Using Graphical Object Models, *Complex Motion*, 2007, pp. 223-234.
7. *Cesetti A., Frontoni E., Mancini A., Zingaretti P., Longhi S.* A Vision-Based Guidance System for UAV Navigation and Safe Landing using Natural Landmarks, *J of Intelligent and Robotic Systems*, 2010, No. 57 (1–4), pp. 233-257.
8. *Yilmaz A., Javed O., Shah M.* Object tracking: A survey, *J ACM Computing Surveys CSUR*, 2006, No. 38 (4): article 13.
9. *Forsyth D., Ponce J.* Computer Vision: A Modern Approach. Prentice Hall. 2004.
10. *Kim N.V., Kuznetsov A.G.* Avtonomnaya navigatsiya BLA na osnove obrabotki i analiza vidovoy informatsii [Autonomous navigation of UAVS based on processing and analysis of imagery], *Izvestiya KBNTs RAN [Izvestiya OF the Kabardino-Balkarian Scientific Centre of the RAS]*, 2011, No. 1.
11. *Osipov G.S., Smirnov I.V., Tikhomirov I.A.* Formal methods of situational analysis: Experience from their use, *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. ACM Press*, 2012, No. 46 (5), pp. 183-194.
12. *Kim N.V., Bodunkov N.E.* Adaptive Surveillance Algorithms Based on the Situation Analysis, *Computer Vision in Control Systems*, 2 edit. Margarita N. Favorskaya, Lakhim C. Jain. Springer, 2015, pp. 169-200.
13. *Li X., Hu W., Shen C., Zhang Z., Dick A., Hengel AVD.* A survey of appearance models in visual object tracking, *J ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 2013, No. 4 (4): article 58.
14. *Ulman S.* High-Level Vision: Object Recognition and Visual Cognition. MIT Press, 1996.
15. *Tulum K., Durak U., Yder S.K.* Situation aware UAV mission route planning. Aerospace conference, 2009 IEEE: 1-12.
16. *Dietterich T.G.* Ensemble learning. The Handbook of Brain Theory and Natural Networks, 2nd edit. Cambridge, MA: MIT Press. 2002.
17. *Forman G.* Tackling concept drift by temporal inductive transfer, *29th annual Int ACM SIGIR Conf on Research and development in information retrieval*, 2006, pp. 252-259.
18. *Forman G.* A pitfall and solution in multi-class feature selection for text classification, *21st Int Conf on Machine learning ICML '04 38*, 2004.
19. *Liedtke C.E., Grau O., Growe S.* Use of explicit knowledge for the reconstruction of 3-D object geometry, *Int. Conf. on Computer analysis of images and patterns*, 1995, pp. 580-587.
20. *Lidtko C.E., Buckner J., Grau O.* A system for the knowledge based interpretation of remote sensing data, 3-d Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 1997, Vol. 2, pp. 313-320.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор М.Н. Красильщиков.

**Ким Николай Владимирович** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; e-mail: nkim2011@list.ru; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4; тел.: 84991584549; кафедра 704; к.т.н.; профессор.

**Бодунков Николай Евгеньевич** – e-mail: boduncov63@hotmail.com; кафедра 704; аспирант.

**Клестов Дмитрий Владимирович** – e-mail: biquaternion@gmail.com; кафедра 704; аспирант.

**Kim Nikolay Vladimirovich** – Moscow Aviation Institute (National Research University); e-mail: nkim2011@list.ru; 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russia; phone: +74991584549; division 704; cand. of eng. sc.; professor.

**Bodunkov Nikolai Evgenievich** – e-mail: boduncov63@hotmail.com; division 704; postgraduate student.

**Klestov Dmitriy Vladimirovich** – e-mail: biquaternion@gmail.com; postgraduate student; division 704; postgraduate.