

Автоматическая система распознавания малоразмерных объектов с использованием простых и комплексных признаков

А.С. Бодров, В.М. Халтобин

Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

125167, г. Москва, ул. Планетная, д.3

wmhwwia@yandex.ru, piok3ak@yandex.ru

Статья посвящена актуальной проблеме создания автоматизированных систем дешифрирования аэрокосмической видеоинформации. Приводятся результаты экспериментальных исследований автоматического распознавания малоразмерных объектов с использованием простых и комплексных признаков.

Ключевые слова: распознавание образов, статистический подход, классификация, автоматизированные системы, признаковое описание, ошибка классификации.

Введение

Одним из перспективных и актуальных направлений применения распознавания образов (РО) в области науки и техники является дистанционное зондирование земной поверхности (ДЗЗ) аэрокосмическими средствами. При этом необходима повышенная оперативность в обнаружении и классификации объектов, определении их координат и состояния. Наиболее оптимальным решением данной задачи является применение автоматизированных систем дешифрирования данных (рисунок 1), где функции обработки информации поделены между машиной и человеком в зависимости от режимов работы и контекста поставленной задачи.

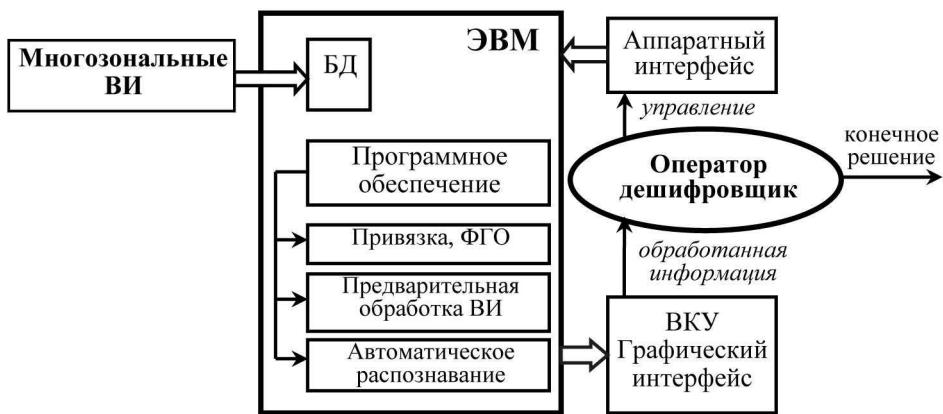


Рис. 1. Схема автоматизированной обработки видеоинформации (ВИ), БД – база данных цифровых изображений, ФГО – фотограмметрическая обработка, ВКУ – видеоконтрольное устройство

Автоматизация охватывает весь цикл работы, включая предварительную обработку снимков, выделение и распознавание объектов, рисовку карт и их вывод на экран или на печатающее устройство. В данной статье хотелось бы рассмотреть работу одного из элементов автоматизированной системы, а именно «автомата».

Особую значимость использование автоматических систем поддержки принятия решений приобретает при работе с большими потоками видеоданных (многоканальная

съемка) в реальном масштабе времени (PMB) при дешифрировании крупных морских, железнодорожных и авиационных узлов с большим количеством разнообразной техники на них. В этом случае даже подготовленные дешифровщики не справляются с данной задачей. При большом количестве объектов вероятность их правильного опознавания дешифровщиком в PMB существенно падает. Это показывают и экспериментальные исследования (рисунок 2) [1].

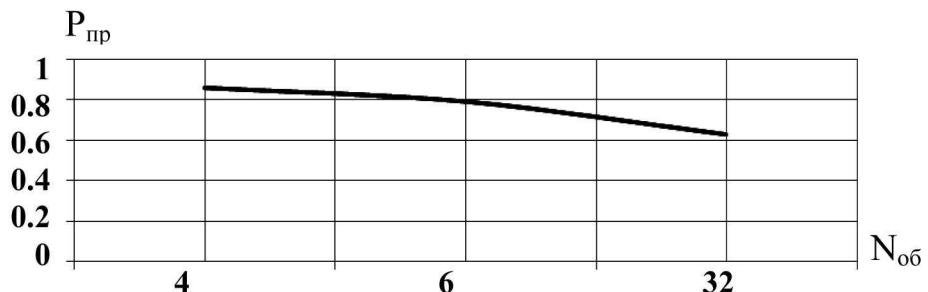


Рис. 2. Средняя вероятность опознавания наземных объектов в зависимости от их количества

Используя в этом случае автоматическую систему обнаружения и классификации объектов можно добиться существенного увеличения оперативности дешифрирования видеинформации. Предлагаются следующие режимы работы автоматической системы:

1. полностью автоматический поиск и опознавание объектов на основе контекста поставленной задачи, априорных данных об объектах и БД эталонной информации;
2. обнаружение оператором объектов и их автоматическая классификация во всем видеопотоке.

Автоматическая система РО

Автоматическую систему РО предлагается строить на основе статистической теории принятия решений при использовании комплексного признака.

Основная идея статистического подхода заключается в том, что все объекты представляются образами, каждый из которых описывается n характеристиками или признаками и изображается как точка в n -мерном пространстве признаков. Основной целью является выбор таких характеристик объектов, которые наиболее точно определяют его принадлежность к различным классам и занимают компактные (желательно непересекающиеся) области в n -мерном пространстве. Эффективность этого пространства определяется тем, насколько хорошо отделяются образы, принадлежащие различным классам. Учитывая набор обучающих образов из каждого класса, цель сводится к тому, чтобы установить границы принятия решения в пространстве признаков, которое устанавливает их принадлежность различным классам [2].

При использовании статистических методов принятия решений, границы определяются плотностями распределения признаков объектов по каждому классу. Они могут быть определены изначально аналитически и корректироваться во время обучения на основе обучающей выборки. Границы могут также определяться и на основе других критериев, исходя из поставленной задачи.

При создании распознающей системы применялась следующая методика:

1. определение множества объектов распознавания;
 2. определение **C** классов объектов;
 3. определение **n** значимых характеристик (признаков) объектов;
 4. создание обучающей выборки – коллекции изображений объектов, для которых заранее известны их характеристики и принадлежности к классам.
 5. накопление статистики по характеристикам объектов для каждого класса на основе обучающей выборки;
 6. на основе статистических данных вычисление параметров плотностей распределения признаков по классам;
 7. разработка классифицирующего правила, которое по полученным значениям характеристических свойств объекта будет относить его к одному из классов;
 8. обучение системы (на основе обучающей выборки) правильно принимать решения о классификации (определение алгоритма принятия решения и его параметров);
 9. проверка качества системы по тестовой выборке и, если количество ошибок велико, возврат к шагу 4;
 10. Оптимизация алгоритма (уменьшение количества характеристических свойств объекта, выбор других характеристических свойств, использование другого классифицирующего правила).

Таким образом, система автоматического распознавания по существу должна включать в себя 3 стадии: 1) получение и предварительная обработка видеоданных; 2) извлечение признаков и определение их значений; 3) принятие решения на основе полученных данных и выбранного критерия (рисунок 3) [3].

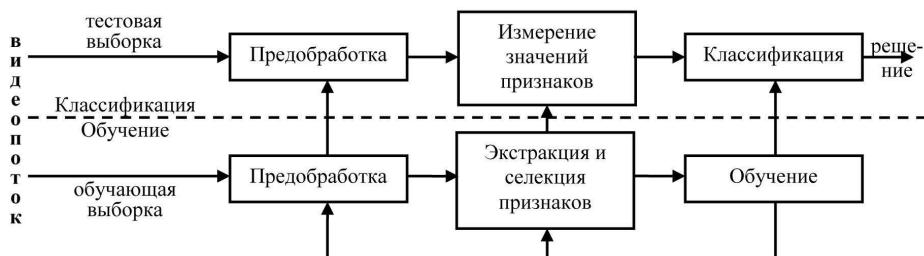


Рис. 3. Модель статистического распознавания образов

Роль модуля предобработки заключается в отделении интересующих образов от фона, снижении шума, нормализации изображения и другие операций, которые определяют компактную форму образа.

Процесс принятия решения заключается в следующем [3]:

1) на основе поступивших данных вычисляется значение комплексного признака $\tilde{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, где, к примеру, x_1 – периметр объекта, x_2 – площадь объекта, x_3 – спектральная характеристика;

2) оцениваются параметры плотностей условных вероятностей $f(\tilde{\mathbf{x}}|\Omega_k)$ для измеренного значения $\tilde{\mathbf{x}}$ по каждой гипотезе Ω_k ;

3) по формуле Байеса вычисляется апостериорная вероятность для каждой гипотезы: $P(\Omega_k|\tilde{\mathbf{x}}) = \frac{P(\Omega_k)f(\tilde{\mathbf{x}}|\Omega_k)}{f(\tilde{\mathbf{x}})}$, где $f(\tilde{\mathbf{x}}) = \sum_{k=1}^l P(\Omega_k)f(\tilde{\mathbf{x}}|\Omega_k)$ – плотность вероятности поступления данных, имеющих значение признака \mathbf{x} , а $P(\Omega_k)$ – априорная вероятность гипотезы;

4) решение принимается в пользу гипотезы Ω_k , если $P(\Omega_k|\tilde{\mathbf{x}}) = \max\{P(\Omega_i|\tilde{\mathbf{x}})\}, \forall i = 1\dots J$.

Для определения эффективности автоматической системы распознавания используют аналитическую и экспериментальную оценки вероятности ошибки классификации. Первая применяется на первых этапах проектирования системы и служит для выбора общего числа признаков n , назначения самих признаков, анализа возможности комплексной обработки данных от различных технических средств, выбора наиболее выгодного правила принятия решения об отнесении объектов к одной из сформированных гипотез. В нашем случае она определяется следующими формулами [2,4].

Общая вероятность ошибки:

$$P_{ou} = \sum_{k=1}^l \sum_{q=1}^l P_{kq}, \quad (1)$$

Условные вероятности того, что при наличии гипотезы Ω_q принята гипотеза Ω_k (сумма ошибок первого и второго рода – ложной тревоги и пропуска цели):

$$\mathbf{P}_{kq} = P(\Omega_k) \Phi\left(\frac{a - \frac{1}{2}r_{kq}}{\sqrt{r_{kq}}}\right) + P(\Omega_q) \left[1 - \Phi\left(\frac{a + \frac{1}{2}r_{kq}}{\sqrt{r_{kq}}}\right)\right], \quad (2)$$

где $\Phi(\xi) = \int_{-\infty}^{\xi} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-y^2/2) dy$, $P(\Omega_k)$ – априорная вероятность появления объекта k-класса, $r_{kq} = (M_k - M_q)R^{-1}(M_k - M_q)$ – расстояние Махалонобиса между плотностями распределения $f(\mathbf{x}|\Omega_k)$ и $f(\mathbf{x}|\Omega_q)$ [1], M и R оценки математических ожиданий и ковариационных матриц классов, a – определенный по некоторому критерию порог принятия решения (в частности $a_{kq} = \ln \frac{P(\Omega_q)}{P(\Omega_k)}$).

Экспериментальная оценка ошибки вероятности распознавания служит для определения эффективности автоматической системы в ходе ее работы по реальным снимкам в различных условиях.

Исследование автоматической системы РО

На основании данного подхода (вышеизложенного) была построена автоматическая система распознавания образов и проведено ее экспериментальное исследование при распознавании малоразмерных объектов в ходе дешифрирования цифровых аэроснимков с использованием простых и комплексных признаков.

В проведенном эксперименте использовались следующие признаки:

- площадь объектов S ;
- периметр объектов P ;
- коэффициент корреляции r ;
- комплексный признак $\mathbf{X}=[\mathbf{r}, \mathbf{S}, \mathbf{P}]$.

Распознавание объектов велось по 3 определенным классам самолетов (АН – 1 класс, ИЛ – 2 класс, ТУ – 3 класс). Априорные вероятности появления объектов взяты равными. «Обучающая» выборка формировалась по набору эталонов для каждого класса на основе базы цифровых изображений самолетов. Для удобства предполагалось, что векторы признаков имеют двухмерные нормальные плотности распределения. Оценки ошибок распознавания между классами, используя (1), составили: $P_{12} \approx 0.5\%$, $P_{13} \approx 0.5\%$, $P_{23} \approx 7\%$, суммарная ошибка распознавания составила, (2): $P_{\text{общ}} \approx 8\%$. Большая ошибка между 2 и 3 классом объясняется их пересечением в пространстве признаков, т.к. площади этих двух классов самолетов близки по значению.

«Рабочая» выборка была составлена на основе фотоснимков, полученных в результате проведения летного эксперимента в ходе учебно-тренировочного полета, оборудованном МКЦС-2 (ООО «Открытое небо+»). Одно из рабочих изображений представлено на рисунке 4.



Рис. 4. Рабочее изображение местности

Разработка системы распознавания осуществлялась при помощи метода математического моделирования в среде MATLAB.

Все исходные изображения подвергались предварительной обработке (световая коррекция, удаление шумов, геометрическая коррекция, различные виды фильтрации, ориентирование и др.).

Одним из ключевых моментов эксперимента являлось использование согласованной фильтрации с целью увеличения информативности корреляционного признака (рисунки 5, 6) [6].

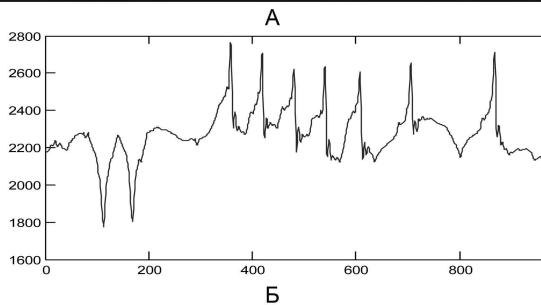
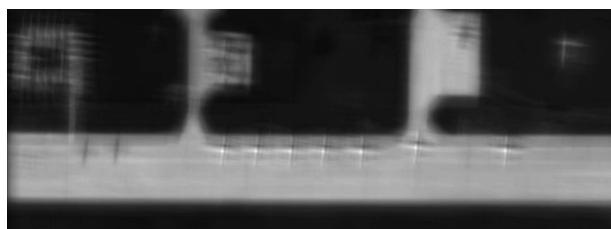


Рис. 5. Корреляционная картина а) и отклик б) без использования согласованного фильтра

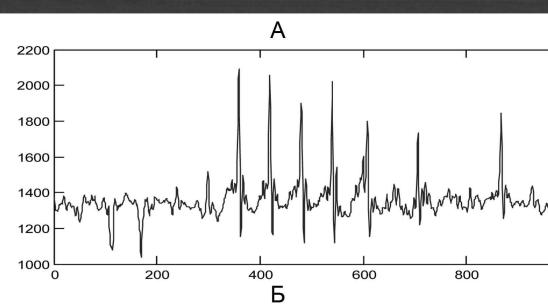
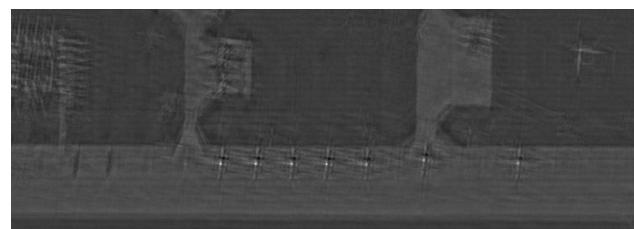


Рис. 6. Корреляционная картина а) и отклик б) с использованием согласованного фильтра

При согласованной фильтрации наблюдается ослаблении шумовых составляющих, а корреляционный отклик полезного сигнала в нашем случае больше по амплитуде на $\sim 10\%$.

Основные результаты работы автоматической системы распознавания по рабочему изображению показаны на рисунках 7, 8, 9 для каждого из признаков и на рисунке 10 для комплексного признака. Результаты распознавания показаны выделением объектов окружностями и прямоугольниками с обозначением классов.

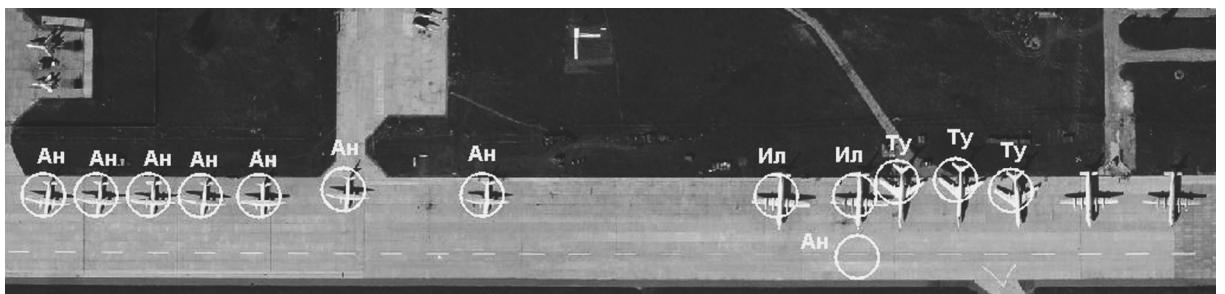


Рис. 7. Результаты автоматического распознавания объектов при использовании корреляционного признака r



Рис. 8. Результаты автоматического распознавания при использовании признака площади объектов S

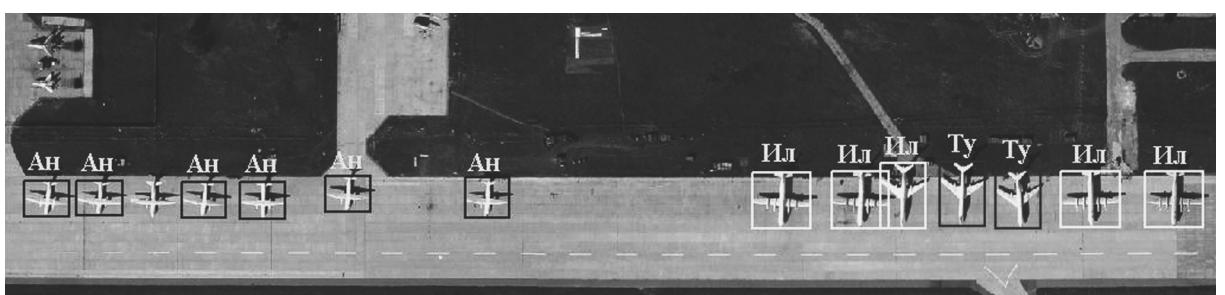


Рис. 9. Результаты автоматического распознавания при использовании признака периметра объектов P



Рис. 10. Результаты автоматического распознавания объектов при использовании комплексного признака X

В таблице 1 приведены значения ошибки распознавания объектов для случаев применения различных признаков. В качестве тестовой выборки использовались 10 «рабочих» изображений аэродрома.

Таблица 1. Результаты распознавания по признакам

Признак	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	$X=[r, S, P]$
$P_{ош}$, %	15-20	10-15	15-20	5-10

Из результатов распознавания при использовании простых признаков видно, что во всех случаях присутствуют ошибки связанные с пропуском цели и (или) ложным ее определением. Использование же в алгоритме распознавания комплексного признака, сочетающего в себе 3 простых признака, приводит к снижению данных ошибок (в данном эксперименте до 10 %).

На эффективность распознавания существенное влияние оказывает контрастность цифрового изображения [5]. Получены следующие зависимости ошибки распознавания от количества используемых признаков (рисунок 11, а) и от количества гипотез (рисунок 11, б) при различных контрастах.

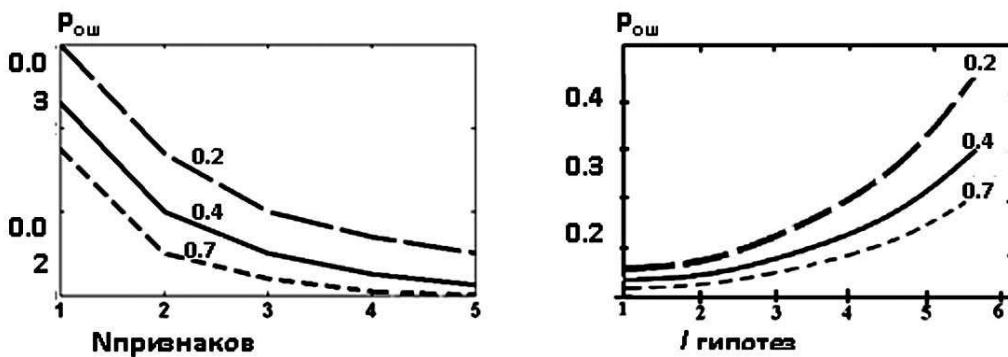


Рис. 11. Зависимость вероятности ошибки от количества используемых признаков
(а) и гипотез (б) при различных контрастах изображения

Использование автоматической системы распознавания малоразмерных объектов при дешифрировании аэрокосмических изображений местности приведет к повышению оперативности обработки информации, позволит снизить информационную нагрузку на дешифровщика, а значит, и увеличить эффективность выполнения задач дистанционного зондирования земной поверхности.

Литература

- Бодров А.С., Халтобин В.М., А.В. Неткачев. Экспериментальное исследование эффективности оператора-дешифровщика. //Сборник научных материалов факультета авиационного и радиоэлектронного оборудования ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. – М.: ВВА, 2010г.
- Гонсалес Р., Будс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005 г. 1072 стр.
- Anil K.Jain, Fellow, IEEE, Robert P.W. Duin. Statistical Pattern Recognition: Review.//IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 22. No. 1. 2000г.

4. *Андерсон Т.* Введение в многомерный статистический анализ. / Под ред. Б. В. Гнеденко – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963г.
5. *Труфанов И.В., Онацкий А.В.* Цифровая обработка растровых изображений. - И.: ИВАИИ, 2003 г. 240 с.
6. *Дворядкин А.Г., Халтобин В.М., Музагаров В.Г.* Голографические системы. – М.: ВВИА, 1994г. 123 с.

Automatic system of recognition small objects with usage of simple and complex features

A.S. Bodrov, V.M. Haltobin

*Military-air academy of prof. N.E.Zhukovsky and J.A.Gagarin
125167, Moscow, Planetnaya street, 3
wmhwwia@yandex.ru, piok3ak@yandex.ru*

Paper is devoted an actual problem of the design automatic recognition systems for understanding a space video information. Results of experimental researches of automatic recognition small objects with usage of simple and complex features are resulted.

Keywords: pattern recognition, statistical approach, classification, automated recognition, feature extraction, feature selection, classifier error estimation.