

УДК 004.932.2

Л.В. Московченко, В.А. Тупиков, В.А. Павлова, С.Н. Крюков, М.В. Созинова
МАЛОГАБАРИТНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА
НАВЕДЕНИЯ

Рассматривается технология формирования алгоритмов распознавания объектов-целей для малогабаритных систем наведения. Приведены основные тактико-технические характеристики разработанной системы наведения. Предлагаются алгоритмы автоматического распознавания и сопровождения наземных стационарных и морских целей. Глобальной проблемой при разработке алгоритмов автоматического распознавания любых целей - как стационарных так мобильных является генерация эталонов для распознавания объектов, позволяющих распознавать с высокой вероятностью объекты при изменении освещенности распознаваемого объекта как суточном так и сезонном. В данной работе для распознавания стационарных целей предлагается на первом этапе использовать контурные эталоны, не зависящие от вариаций освещенности. При этом, поиск подозрительного на цель объекта производится по так называемому дистантному полутоновому текущему изображению, сформированному из контурного препарата исходного изображения. На втором этапе распознавания производится анализ всех подозрительных объектов с помощью оригинального корреляционного алгоритма. Наведение на обнаруженный объект производится с помощью бинарного коррелятора. Для распознавания мобильных морских целей предлагается принцип обнаружения по вектору признаков, так же мало зависящему от изменения уровней освещенности. К этим признакам относятся такие как: контраст цели относительно фона, текстура окружающего фона (вода), геометрические признаки корабля: соотношение сторон описывающего объект прямоугольника. Наведение на обнаруженный объект производится по признаковому алгоритму.

Малогабаритная система наведения; алгоритмы распознавания.

L.V.Moskovchenko, V.A.Tupikov, V.A.Pavlova, S.N.Krjukov, M.V.Sozinova
SMALL-SIZE SYSTEM OF OBJECT POINTING

In the article it is discussed the technology of forming algorithms for automatic target recognition(ATR) for small-size systems of object pointing. Given the general performance characteristics of the created ATR system. Suggested the ATR and target tracking algorithms for ground stationary and naval targets. The global problem for creating the automatic target recognition algorithms for any kind of targets both ground stationary and mobile naval is the problem of standards generation giving the high probability of recognition in the conditions of big variability of daily and seasonal illumination. In given work it is suggested for ground stationary targets recognition on the first stage to use contour standards, not depending from illumination variability. The very search of the target suspect object is realized with the help of so called distant gray-level images, created from contour representation of current initial image. On the second stage of recognition the analysis of all suspect objects is performed by original correlation algorithm. The detected target is tracked down with special original binary correlation algorithm. For mobile naval targets (flight boats) recognition it is suggested to use the feature vector not depending from the illumination levels and variability. The attributes which used are following: contrast of the target relative to background, the background texture, geometrical boat adjectives such as aspect ratio. The detected target is then tracked down using original feature algorithm.

Small-size system of object pointing; automatic target recognition algorithms.

В настоящее время актуальными являются вопросы теории построения систем автоматического распознавания образов, а также разработки различных алгоритмов и устройств распознавания объектов. Однако их реализация в бортовых вычислителях летательных аппаратов сталкивается с рядом трудностей, обусловленных жесткими ограничениями по массово-габаритным характеристикам, стоимости, объемами необходимой априорной информации об объектах, а также высокими требованиями к быстродействию, надежности распознавания. Поэтому в

большинстве известных систем наведения, выбор цели по изображению, формируемому оптико-электронными системами наведения, производится с участием оператора, прошедшего специальное обучение. Этот фактор существенно ограничивает возможности управляемого вооружения по эффективному поражению целей, особенно при групповом (залповом) применении оружия с больших дальностей, требующем реализации принципа «пустил – забыл».

Поэтому проведенные в ОАО "НПО "Карат" исследования, посвященные разработке новой и технически реализуемой в малогабаритных системах наведения (МСН) технологии формирования и экспериментальной отработки алгоритмов распознавания объекта-цели, а также созданию макета устройств автоматического распознавания объектов и тепловизионной МСН, являются актуальными. Их новизна обусловлена комплексным подходом к решению задачи распознавания в МСН на основе учета всех этапов подготовки и обработки информации об объектах, комбинированным использованием наиболее эффективных алгоритмических решений при распознавании, а также детальным рассмотрением вопросов информационного обеспечения работы МСН. Новые алгоритмические, аппаратные и конструктивно-технологические решения, использованные при создании малогабаритной информационно-управляющей системы наведения, экспериментально проверены методами компьютерного и полунатурного стендового моделирования.

Макет ТПВ МСН (рис. 1), выполненный в ОАО "НПО "Карат", предназначен для обеспечения в автоматическом режиме поиска, обнаружения, распознавания (по заданной совокупности признаков) и сопровождения надводных целей, а также измерения и выдачи в аппаратуру технологического управления макетом (АТУМ) текущих значений угла и угловой скорости линии визирования цели.



Рис. 1. Внешний вид тепловизионной системы наведения

В основе макета ТПВ МСН лежит гиростабилизированная платформа (ГСП), представляющая собой заключенную в двухосный карданов подвес платформу, с закрепленным на ней зеркально-линзовым объективом, тепловизионной камерой и датчиком угловых скоростей. Угловое перемещение ГСП обеспечивается приводами, установленными попарно на каждой оси. Ограничение углов прокачки в пределах $\pm 15^\circ$ по каждой оси подвеса реализовано механическими упорами.

На корпусе через кронштейн устанавливаются центральный блок управления, контроллер ГСП и устройство автоматического распознавания целей, объединенные в единый электронный модуль.

ГСП с подвесом заключается в корпус, состоящий из двух отсеков и обтекателя, оптически прозрачного в инфракрасной области спектра.

Программное обеспечение электронных устройств ТПВ МСН распределено между контроллером ГСП и устройством автоматического распознавания целей (УАРЦ). УАРЦ реализует алгоритм автоматического распознавания и сопровождения стационарных наземных и морских целей.

Основные характеристики макета ТПВ МСН приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные ГТХ тепловизионной малогабаритной системы наведения

| Характеристика | Фактическое значение |
|---|----------------------|
| Длина отсека | 375 мм |
| Максимальный диаметр корпуса | 200 мм |
| Масса | 8,0 кг |
| Объем | 8,0 дм ³ |
| Время готовности | 30 сек |
| Углы прокачки: - по азимуту - по углу места | ±15° ±15° |
| Мощность, потребляемая изделием от источника тока | 27 В |
| Напряжение на входе изделия | 250 Вт |

Автоматическое распознавание и сопровождение стационарных объектов. Принцип автоматического распознавания наземных стационарных объектов базируется на применении теории «дистантных» изображений [1] и корреляционного анализа [2]. Алгоритмы автоматического распознавания, построенные на этой базе, отличаются повышенной устойчивостью к шумам и допускают частичную потерю исходной информации. Применение комбинированного алгоритма [3, 4] позволяет существенно уменьшить вероятность ложных тревог при сохранении высокой вероятности правильного распознавания.

Оценка эффективности алгоритма распознавания стационарных целей показала, что разработанный алгоритм обеспечивает распознавание с оценкой вероятности 0,96 при изменении контраста объекта относительно фона от 20 до 100 %, а также при изменении не более 20 % от площади цели на эталонном изображении.

Комбинированный алгоритм автоматического распознавания целей основан на двухэтапной обработке (двухэтапном анализе) изображения. На первом цикле на изображении выделяются подозрительные зоны. Для этого текущее изображение переводится в дистантную форму. Дистантным называется полутоновое изображение, в котором яркость каждого пиксела определяет расстояние до ближайшего контурного пиксела. При этом пикселы, принадлежащие контурам, будут иметь нулевое значение. По построенному дистантному изображению осуществляется сканирование контурным эталоном. Для каждой точки изображения вычисляются значения дистанций, определяющие степень совпадения контуров текущего и эталонного изображений. Из всех точек выбираются те, для которых значения дистанций ниже некоторого заданного порога.

На втором цикле распознавания по выбранным точкам работает корреляционный алгоритм. На данном этапе в качестве текущего и эталонного изображений использует их полутоновые представления.

Значение корреляции рассчитывается по формуле

$$R(m, n) = \frac{\sum_i^k \sum_j^l (g(i, j) * t(i+m, j+n))}{\sqrt{\sum_i^k \sum_j^l g^2(i, j) * \sum_i^k \sum_j^l t^2(i+m, j+n)}},$$

где i – горизонтальная координата точки изображения; j – вертикальная координата точки изображения; $g(i, j)$ – яркость нормированного эталона в точке с координатами i, j ; $t(i+m, j+n)$ – яркость точки нормированной части текущего изображения, смещенной относительно соответствующей точки эталона на величины m и n пикселей; $R(m, n)$ – значение взаимной корреляционной функции для заданного смещения; k, l – размеры эталонного изображения.

В тех точках анализа, в которых вычисленный коэффициент корреляции выше некоторого заданного порога, ищется положение максимума, который и определит положение распознаваемой цели на текущем изображении.

На рис. 2 приведен пример работы этапов алгоритма автоматического распознавания стационарных целей.

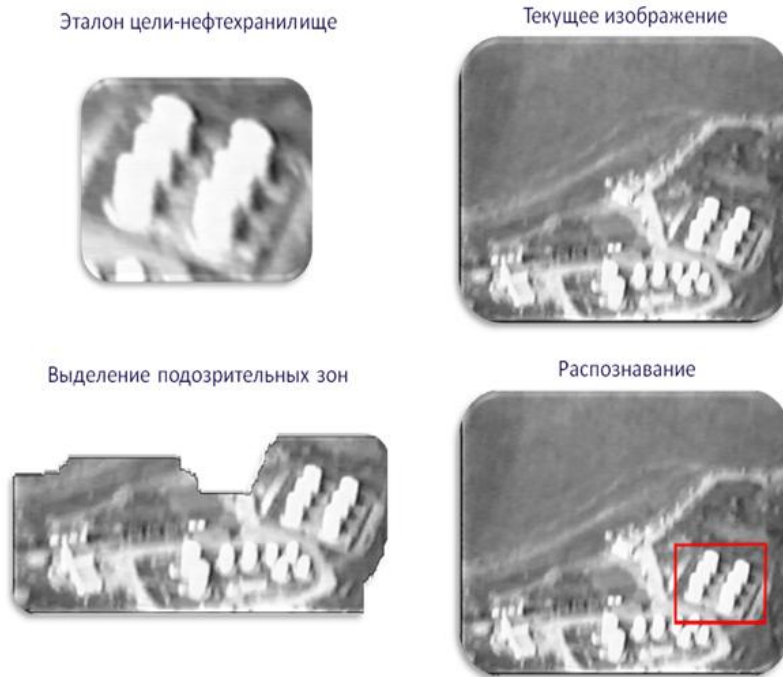


Рис. 2. Этапы работы алгоритма автоматического распознавания

После успешного распознавания объекта на кадре последующем кадре видеопотока выполняется алгоритм автоматического сопровождения распознанной цели. Алгоритм автосопровождения состоит из нескольких функций, включающих в себя предобработку, основную функцию сопровождения последовательно идущих кадров и вывод на каждом кадре координат строба, наилучшим образом отслеживающего объект сопровождения.

В ходе работы основной функции сопровождения на каждом последующем кадре уточняются размер и положение строба, наилучшим образом отслеживающего объект сопровождения на текущем кадре. Содержимое строба на кадре принимается за эталон для следующего кадра. Основная функция алгоритма автоматического сопровождения базируется на корреляционных вычислениях с учетом изменения масштаба и положения объекта.

Алгоритмы автоматического распознавания и сопровождения морских целей. Алгоритм автоматического распознавания и сопровождения морских целей имеет следующие специфические особенности:

- ◆ на этапе обнаружения объектов в зоне поиска выполняется предварительное распознавание объекта-цели по сокращенной совокупности признаков и объект захватывается на автосопровождение;
- ◆ после сближения с объектом осуществляется дораспознавание цели по расширенной совокупности признаков и выдается подтверждение соответствия объекта образу цели.

Предварительная обработка изображения включает в себя этапы растяжения гистограммы, бинаризацию изображения, а также представление изображения в виде множества объектов, каждый из которых пронумерован по принципу 8-связности. При этом в процессе связывания объектов, происходит вычисление площади каждого из них и описывающего его прямоугольника. Кроме того, отбрасываются объекты, площадь которых меньше или больше заданных пороговых значений.

В результате предварительной обработки входного изображения каждый бинарный объект пронумерован и для него существует описание в виде вектора признаков, включающего в себя как геометрические, так и яркостные характеристики объекта.

На этапе предварительного распознавания цель выбирается из множества пронумерованных в кадре объектов по совокупности признаков. Запоминается значение описывающего цель прямоугольника, и в дальнейшем по предварительно распознанной цели работает алгоритм автоматического сопровождения.

По изображению объекта, полученного на этапе предварительного распознавания, создается эталонное бинарное изображение. При последующей обработке видеопотока полученный перезаписываемый эталон служит для поиска фрагмента на текущем изображении, наилучшим образом соответствующего эталону.

Для каждого последующего кадра видеопоследовательности производится выделение объектов по принципу 8-связности, при этом для дальнейшей обработки остаются только те объекты, площадь которых лежит в некотором заданном интервале. Поиск осуществляется с помощью оригинального алгоритма бинарной корреляции, который вычисляет значение численного критерия сходства между эталоном и соответствующим по размерам фрагментом на текущем изображении.

Поиск производится в заданной зоне относительно положения объекта на предыдущем кадре. В процессе поиска для всех точек эталона (i_e, j_e) и точек исходного изображения (i_i, j_i), накрытых точками эталона, вычисляются суммы по следующему правилу:

Если $pRes[i_i, j_i]=255$, то $Sumc=Sumc+1$.
 Если $pEt[i_e, j_e]=255$, то $Summ=Summ+1$.
 Если $pRes[i_i, j_i]=255$ и $pEt[i_e, j_e]=255$, то $Sumg=Sumg+1$.

Коэффициент бинарной корреляции вычисляется по формуле

$$Kcorr(i, j) = \frac{Sumg^2}{Sumc * Summ}.$$

Результатом поиска является определение максимального значения коэффициента бинарной корреляции и соответствующего положения сопровождаемого объекта.

После работы бинарного коррелятора для компенсации влияния изменения масштаба и ракурса при подлете к цели производится уточнение размеров и положения границ описывающего цель прямоугольника. Принцип базируется на последовательном уточнении положения верхней, нижней, левой и правой границ. Вдоль каждой границы считается количество точек бинарного объекта, попавших на границу. Если количество точек на анализируемой границе больше заданного порога, то данная граница пошагово смещается относительно исходной позиции в направлении, перпендикулярном границе. Если количество точек на анализируемой границе равно нулю, то смещение границ производится в обратном направлении.

Таким образом, строб отслеживает как положение объекта-цели на изображении, так и его размеры, которые изменяются в процессе подлета к цели. После уточнения положения строба цели и его размеров происходит перезапись эталона, который будет использован при дальнейшем сопровождении. На этом обработка очередного кадра завершается.

Процесс автосопровождения продолжается и после достижения стробом максимальных размеров. Так как идет непрерывная перезапись эталона, то носитель попадает в центр строба в земной системе координат, т.е. примерно в середину цели для данного ракурса полета.

Когда в процессе сопровождения цели размеры сопровождаемого объекта превысят некоторый заданный порог, производится ее автоматическое дораспознавание. Процесс дораспознавания морских целей состоит из нескольких этапов.

На первом этапе производится бинаризация изображения с использованием оптимального порога бинаризации, позволяющего выделить дораспознаваемый объект. Далее происходит уточнение размеров объекта. Порог бинаризации изображения адаптируется таким образом, чтобы выделить объект полностью, исключив при этом фон. После уточнения размеров распознаваемого изображения производится вычисление признаков объекта для его дораспознавания. Вычисляется коэффициент формы объекта. Для этого с помощью преобразования Хафа [5] определяется максимальная длина и ширина объекта. Отношение этих двух величин будет определять коэффициент формы. Для успешного дораспознавания объекта значение этого коэффициента должно быть выше заданного порога. Пример тепловизионного изображения с результатами распознавания морской цели приведен на рис. 3.

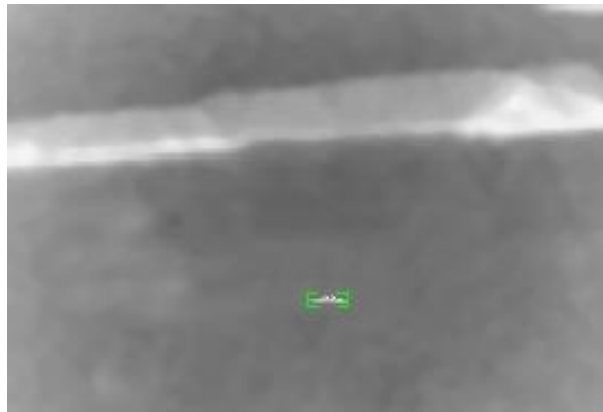


Рис. 3. Пример распознавания морской цели по тепловизионному изображению

Результаты дораспознавания передаются в аппаратуру наведения и используются в соответствии с общей логикой работы системы наведения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hong-Chih Liu, Mandiam D. Srinath.* Partial Shape Classification Using Contour Matching in Distance Transformation // IEEE Trans on PAMI. – 1990. – Vol. 12, № 11. – P. 1072-1079.
2. *Бочкарев А.М.* Корреляционно-экстремальные системы навигации // Зарубежная радиоэлектроника. – 2001. – № 9. – С. 73-79.
3. *Павлова В.А., Крюков С.Н., Созинова М.В., Каркаева Р.К.* Автоматическое компьютерное распознавание наземных и морских объектов // Вопросы оборонной техники. – 2011. – Сер. 9. – Вып. 1(246)–2(247). – С. 53-58.
4. *Крюков С.Н., Павлова В.А., Созинова М.В., Тутиков В.А.* Система автоматической навигации низколетящего летательного аппарата, использующая изображения местности и топогеодезическую информацию // Вопросы оборонной техники. – 2012. – Сер. 9. – Вып. 5 (257). – С. 64-71.
5. *Duda R.O., Hart P.E.* Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures. Comm. ACM. January, 1972. – Vol. 15. – P. 11-15.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.В. Щербинин.

Московченко Леонид Васильевич – ОАО «Научно-производственное объединение «Карат»; e-mail: Moskovchenko.L.V@npo-karat.ru; 196066, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 212; тел.: 88124068290; к.т.н.; генеральный директор; генеральный конструктор.

Тупиков Владимир Алексеевич – e-mail: Tupikov.V.A@npo-karat.ru; д.т.н.; профессор; заместитель генерального директора по научной работе; заместитель генерального конструктора.

Павлова Валерия Анатольевна – e-mail: Pavlova.V.A@npo-karat.ru; к.т.н.; директор Центра обработки изображений в системах специального назначения.

Крюков Сергей Николаевич – e-mail: Krjukov.S.N@npo-karat.ru; к.т.н.; главный научный сотрудник.

Созинова Мария Владимировна – e-mail: Sozinova.M.V@npo-karat.ru; старший научный сотрудник.

Moskovchenko Leonid Vasilyevich – OJSC "Research and Production Company "Karat"; e-mail: Moskovchenko.L.V@npo-karat.ru; 212, Moskovskiy pr., Saint Petersburg, 196066, Russia; phone: +78124068290; cand. of eng. sc.; general director; chief designer.

Tupikov Vladimir Alekseevich – e-mail: Tupikov.V.A@npo-karat.ru; dr. of eng. sc.; professor; deputy director general of scientific research.

Pavlova Valeria Anatolyevna – e-mail: Pavlova.V.A@npo-karat.ru; cand. of eng. sc.; director of the image processing center.

Krjukov Sergey Nikolaevich – e-mail: Krjukov.S.N@npo-karat.ru; cand. of eng. sc.; chief researcher.

Sozinova Maria Vladimirovna – e-mail: Sozinova.M.V@npo-karat.ru; senior researcher.

УДК 621.3.017.31+621.3.017.32

И.Б. Подберезная

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Ставится задача создания универсальной математической теории квазистационарных электромагнитных процессов, протекающих в электромеханических устройствах с использованием метода пространственных интегральных уравнений в трехмерной постановке. Рассматривается расчетная область, состоящая из совокупности отдельных подобластей: ферромагнитной и проводящей сред, а также токонесущих элементов. Основные уравнения Максвелла для квазистационарного поля с помощью тождеств векторного анализа сводятся к системе уравнений, использующей вектора намагниченности и плотности тока. Дискретная модель среды выбирается из условия кусочно-постоянной аппроксимации распределения этих векторов по объёму вещества. В качестве элементарных объёмов используются прямоугольные призмы. Полученные дискретные уравнения в векторном виде понимаются как обобщенная форма записи представления проекций векторов в декартовой системе координат. В работе приводятся примеры вычисления элементов матриц, характеризующих геометрию магнитной системы. Производные по времени представляются в конечно-разностном виде в соответствии с неявным методом Эйлера. На каждом интервале времени пространственные соотношения системы реализуются численно. Алгоритм расчета складывается из послойного решения для каждого временного шага системы нелинейных алгебраических уравнений.

Электромеханические системы; квазистационарное электромагнитное поле; метод пространственных интегральных уравнений; векторный магнитный потенциал; магнитная индукция; напряженность магнитного поля; намагниченность вещества; вихревой ток простой слой электрических зарядов; сингулярные интегралы.