



**Титков**  
**Илья Васильевич,**  
доцент кафедры РЭБ (ВМФ) ВУНЦ ВМФ  
«ВМА», д.т.н.,  
капитан 2 ранга



**Божев**  
**Александр Николаевич,**  
доцент кафедры РЭБ (ВМФ) ВУНЦ ВМФ  
«ВМА», к.т.н.  
капитан 2 ранга

Сущность РЭБ в настоящее время заключается во временном или постоянном снижении эффективности применения средств разведки, оружия, боевой техники противника путем радиоэлектронного или огневого подавления (уничтожения) его радиоэлектронного оборудования, систем управления, разведки, связи. Таким образом, РЭБ может включать в себя как временную дезорганизацию работы радиоэлектронных систем противника путем постановки помех, так и полное уничтожение данных систем (огневое поражение или захват). Также РЭБ включает меры по радиоэлектронной защите (РЭЗ) своих информационных систем и радиоэлектронной разведке [3, 4].

## Особенности и перспективы развития радиоэлектронной борьбы военно-морского флота в сетевых условиях ведения военных действий

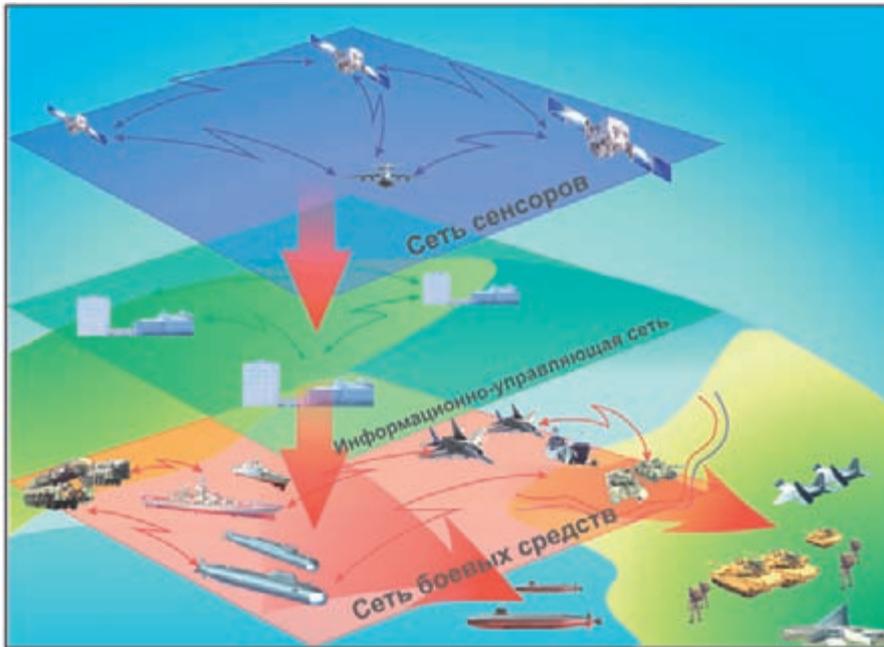
Анализ военных действий последних десятилетий позволяет сделать вывод о том, что результат ведения военных действий во многом достигается не количественной характеристикой применяемых сил, а применением той или иной стратегии ведения военных действий, основанной на использовании новых наукоемких технологий. Если ранее основное внимание уделялось разработке математического и программного обеспечения, ориентированного на результативность применения оружия по ударным средствам противника, то в настоящее время акцент все больше смещается в сторону оптимизации процесса принятия решения в условиях информационного противодействия (противоборства) в сжатые сроки. В этих условиях сетевая концепция ведения военных действий является одним из центральных элементов возможных подходов к проблеме информационного противодействия и накладывает определенный отпечаток на процесс программно-целевого планирования развития технологий и средств информационного противодействия, т.е. средств РЭБ [5].

В процессе всесторонней оценки обстановки в сложных информационных условиях перед лицом, принимающим решение (ЛПР) о нанесении удара по объектам противника, возникает задача, решение которой должно быть оптимально, достоверно по месту и времени с точки зрения распределения и построения сил (войск), определения состава удара и очередности применения средств поражения в условиях информационного противодействия. Для эффективного решения поставленной задачи в условиях ограниченности временных ресурсов в помощь ЛПР должна быть предоставлена система поддержки принятия решений (СППР), входящая в со-

став системы информационно-интеллектуальной поддержки (ИИП) [6, 7].

Мировой опыт показывает, что передовые СППР, используемые для планирования операций и боевых действий в качестве неотъемлемой и основной составной части, включают в свой состав геоинформационные системы (ГИС). Это позволяет решать задачи пространственного анализа и моделирования сценариев развития обстановки, визуализации на электронной карте данных о месте сосредоточения сил (войск) и средств, применяемых при использовании определенного сценария, а также определения степени риска применяемого сценария.

Одним из примеров организации зарубежными специалистами сетевых систем управления посредством ГИС является система TIGR (Tactical Ground Reporting System), с внедрением которой геоинформационные технологии, охватывавшие ранее звено «бригада – батальон», спустились до звена «рота – взвод». Испытания данной системы были проведены в ходе войны в Ираке. TIGR представляет собой тактический геопортал, аналогичный GoogleEarth/Maps и предназначенный для оперативного обмена геопрозрачной информацией в звене рота – взвод. Портал позволяет реализовать принцип комплексного представления геопрозрачной информации в универсальной географической системе координат. Быстроменяющаяся обстановка оперативно отслеживается благодаря возможности интеграции в геосервис текущих изображений, получаемых как от средств воздушной разведки, так и непосредственно с места событий. В качестве аппаратной платформы для геопортала могут быть использованы ноутбуки, подобные ITRONIX GoBook MR-1 [5].



Концептуальная модель сетецентрических военных действий

В настоящее время имеется определенный отечественный опыт исследований в области создания СППР с использованием ГИС для визуализации пространственной информации. Так, например, научно-исследовательской лабораторией объектно-ориентированных геоинформационных систем Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН) в интересах ВМФ России разработан программно-аппаратный комплекс поддержки принятия решений оперативно-стратегического уровня «Автоматизм», использующий на этапе моделирования операций и боевых действий в качестве геоинформационной компоненты для визуализации оперативной обстановки и сценариев ее изменения объектно-ориентированную ГИС «Алеврит» [5].

Таким образом, в сложившихся условиях одним из главных требований становится обеспечение в реальном времени всех участников военных действий достоверной и полной информацией, соответствующей профилю компетенции и обеспечивающей своевременное достижение поставленных целей в условиях активного противодействия со стороны противника. В таких условиях именно ГИС может стать той средой, которая свяжет воедино все три решетки-подсистемы, представленной на рис. 1 — сенсорную, информационно-управляющую и ударную. Такой подход обеспечит эффективное взаимодействие ударных средств в процессе реализации решений, выработанных

ных в информационно-управляющем контуре на основе пространственных данных о своих силах (войсках) и силах (войсках) противника, полученных от сенсорной подсистемы, поддержание функционально интегрированного информационного поля над зонами военных действий, а также обеспечит более высокую эффективность ведения РЭБ.

В таких условиях целью ГИС является формирование единой динамической картины событий посредством визуального отображения на электронной карте обстановки и обеспечение превосходящего качества управления, гарантирующего выполнение задач и достижение поставленных целей с минимальными потерями.

Распознавание, классификация и идентификация изображений является в настоящее время одним из наиболее актуальных направлений исследований. Тематика распознавания

имеет приложения во многих областях научных, технических, компьютерных и военных технологий. Особую актуальность такие алгоритмы приобретают в свете необходимости распознавания и классификации различных объектов военного назначения как объектов РЭБ.

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к распознающим системам, являются быстрдействие и точность идентификации. Наряду с этим обработка изображений сопряжена со значительным объемом вычислений, как правило, в условиях искажения (искусственного или естественного происхождения) поступающей информации.

Поскольку большинство задач распознавания необходимо решать в строго ограниченное время, алгоритмы распознавания должны быть оптимизированы по временной сложности, возможность данной оптимизации может достигаться на основе распараллеливания. Компьютерная реализация таких алгоритмов требует обеспечения высокого быстрдействия и практической устойчивости к искажениям. Ограниченность объемов машинной памяти, выделяемой под пространство эталонов, а также требование быстрдействия, выводят на первый план распараллеливаемые алгоритмы распознавания, инвариантные к сдвигу, масштабированию и ротации распознаваемых изображений.

В рамках данной статьи преобразование масштабирования трактуется как равномерное растяжение (сжатие) изображения вдоль осей координат, исключаящее отражение анализируемого изображения. Классификацию методов распознавания можно проиллюстрировать схемой.

Практическая задача заключается в разработке методов построения по-



Классификация методов распознавания

тенциальных функций при заданном наборе эталонов или обучающей последовательности. Функции при этом выбираются так, чтобы облегчить их практическое получение. Такая постановка задачи характерна для вероятностного распознавания. При детерминированном распознавании задается некоторое количество эталонов, любой новый объект требуется отнести к определенному классу (предполагается существование разделительных поверхностей).

Распознавание основывается на анализе некоторых числовых характеристик области. Ниже рассматривается набор простейших числовых характеристик объекта, представленного областью на изображении. Данные характеристики тем или иным образом используются в различных методах распознавания, в том числе и при классификации. Такими характеристиками являются: периметр, площадь, удлиненность, компактность.

Кроме перечисленных характеристик часто используемой вспомогательной характеристикой является положение геометрического центра области.

Для достижения поставленной цели в рамках статьи были решены следующие задачи:

1. Разработан метод распознавания изображений, инвариантный относительно сдвига, ротации и масштабирования, который позволял бы осуществлять устойчивое построение векторов распознавания изображений (объектов РЭБ).
2. Предложена структура данных для базы эталонов и схема идентификации изображения путем последовательного сравнения вектора распознавания с эталонными векторами по норме в условиях искажения изображения (объекта РЭБ).
3. Выполнен программный эксперимент по распознаванию и идентификации изображений с учетом искажений, сдвига, ротации и масштабирования на растре.

Методы исследования опираются на: теоретические основы информатики, методы прикладной информатики, теорию сложности, используются алгоритмы сортировки, цифровой обработки изображений и распознавания образов, применяются современные информационные технологии, структурное и объектное программирование.

Достоверность результатов вытекает из математического обоснования конструктивных алгоритмов рас-



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Примеры изменения изображения

познавания и идентификации изображений, подтверждается оценками временной сложности, а также результатами программного моделирования и эксперимента.

В основу предлагаемого способа идентификации объектов заложены основные уравнения, определяющие основу моментных инвариантов. Так, для двумерной плотности распределения  $f(x, y)$ , моменты  $(p+q)$ -го порядка можно записать следующим образом:

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy, \quad (1)$$

где  $p, q = 0, 1, 2, 3, \dots$

Теорема однозначности [8] указывает, что если  $f(x, y)$  является непрерывной величиной и имеет ненулевые величины только в определенной части  $x$ - $y$  плоскости, то существуют моменты всех порядков и последовательность моментов определяет  $f(x, y)$  и, наоборот,  $f(x, y)$  определяет последовательность моментов. Исходя из качественного анализа решаемой задачи, можно допустить, что функция плотности вероятностей  $f(x, y)$  удовлетворяет этим требованиям. При этом центральные моменты определяются как:

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ (x - \bar{x})^p \times (y - \bar{y})^q \right] f(x, y) dx dy, \quad (2)$$

где центр распределения (центр тяжести) определяется:

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}; \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Известно, что абсолютно ортогональные моментные инварианты и могут непосредственно использоваться для идентификации объектов независимо от ориентации. Если они используются в сочетании с моментами подобия, то идентификация будет независима от ориентации и масштаба объекта. Если вместо начальных моментов  $m_{pq}$  использовать центральные, то идентификация будет производиться независимо от положения исследуемого объекта.

В этом случае для моментов 2-го и 3-го порядка можно получить шесть абсолютных ортогональных инвариантов [9].

$$\varphi_1 = m_{20} + m_{02} \quad (3)$$

$$\varphi_2 = (m_{20} + m_{02})^2 + 4m_{11}^2 \quad (4)$$

$$\varphi_3 = (m_{30} + m_{12})^2 + (3m_{21} + m_{03})^2 \quad (5)$$

$$\varphi_4 = (m_{30} - m_{12})^2 + (m_{21} + m_{03})^2 \quad (6)$$

$$\varphi_5 = (m_{30} - 3m_{12})(m_{30} + m_{12}) \times [(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2] \quad (7)$$

$$\varphi_6 = (m_{20} - m_{02})[(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2] + 4m_{11}(m_{30} + m_{12}) \times (m_{21} + m_{03}) \quad (8)$$

И один ассиметричный, полезный при зеркальных отображениях реализаций (его знак показывает, является ли изображение инвариантным к зеркальному отражению):



$$\varphi_7 = (3m_{21} - m_{03})[(m_{30} + m_{12}) \times \\ \times [(m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2 - \\ - (m_{30} - m_{12})(m_{21} + m_{03}) \times \\ \times [3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2]] \quad (9)$$

Для многомерного пространства признаков могут быть предложены разные одномерные обобщенные параметры, которые целесообразно формировать для совокупности моментных инвариантов после введения унифицированных значений контраста центральных признаков  $\beta(i)$  по отношению к мере средне-фонового рассеяния  $\sigma\beta$ , т.е. так называемых параметров Стьюдента, дающих конкретное представление о вкладе каждого признака в обобщенный параметр.

Учитывая тот факт, что числовые величины моментов имеют очень широкий динамический диапазон, выполняется его «сжатие» путем перевода на логарифмическую шкалу. Полученные результаты показали, что инвариантные моменты служат важным средством распознавания и меры подобия. В рамках данной работы была реализована программа, реализующая внесение различного вида искажений в изображение, таких как: изменение размера, повороты на различные углы, наложение шумов разного уровня.

1. Исходное изображение;
2. Уменьшенное изображение и копированное три раза;
3. Изображение, повернутое на 45°;
4. Изображение, повернутое на 90°;
5. Зашумленное изображение по уровню 0,3;
6. Зашумленное изображение по уровню 0,01.

Помимо доказательства сходимости инвариантов одного изображения, подвергнутого различным видам искажений, необходимо наглядно показать отличие инвариантов одного изображения от инвариантов другого. Для чего были взяты изображения модели корабля.

Для каждого из изображений, приведенных на рисунках 3 и 4, в среде MatLab были рассчитаны 7 инвариантов, позволяющих наглядно оценить влияние изменения изображения на значение инвариантов. На рис. 5 приведены результаты: по оси абсцисс отложены номера инвариантов от 1 до 7, а по оси ординат — значения инвариантов. Далее приведены значения моментных инвариантов для шести изображений.

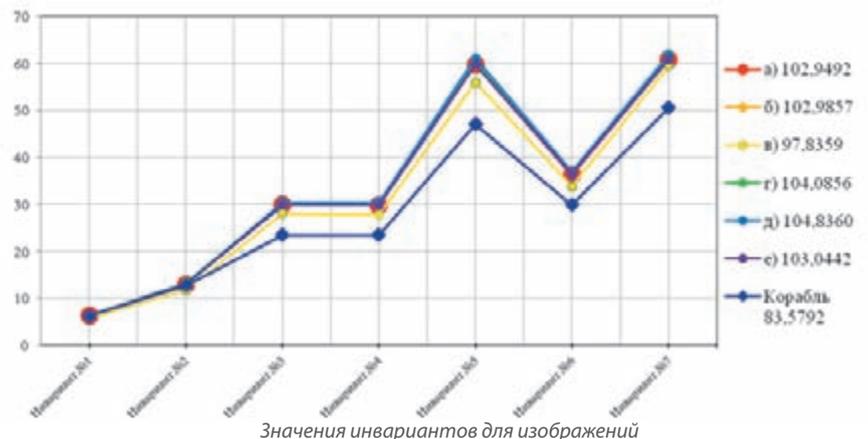
Из вышеприведенного графика видно, что для одного изображения, подвергнутого различным искажениям, значения инвариантов схожи и раз-



Изображение модели корабля

личаются незначительно, также для каждого изображения был рассчитан общий инвариант, приведенный справа от графика, в свою очередь показывающий, что диапазон изменения моментов инварианта не превышает семи относительных единиц. Для сравнения приведены инварианты к изображению, принципиально отличающемуся от анализируемого по структуре. Сравнивая моменты инвариантов разных изображений, можно сделать вывод: с увеличением номера момента инварианта расходимость увеличивается, о чем также свидетельствует различие в общем моменте инвариантов, составляющее около 20 относительных единиц.

В соответствии с вышесказанным можно сделать вывод: объекты (изображения объектов РЭБ) можно охарактеризовать некоторым вектором моментов инвариантов, что в свою очередь позволяет создать базу данных, работающую в комплексе с приведенным в статье правилом, для осуществления классификации объектов.



Для анализа можно использовать изображения, которые система получает от разнородных источников, например [10] и формировать базу данных для геоинформационной системы, например [11].

Анализ опыта военных действий начала XXI столетия, а также особенности сетецентрического подхода к ведению военных действий, свидетельствуют о необходимости выделения основных перспективных направлений дальнейшего развития РЭБ в ближайшем будущем и концентрации на этих направлениях основных усилий. К этим направлениям, по мнению авторов, можно отнести:

1. Использование сил и средств РЭБ совместно с системами боевого управления в информационных операциях (при выполнении задач информационного противоборства).
2. Реализация перехода от выполнения отдельных задач РЭБ к комплексному ведению РЭБ в интересах всей межвидовой группировки сил (войск).



3. Расширение спектра имеющихся на вооружении новых универсальных средств РЭБ с большими функциональными возможностями и расширенными частотными диапазонами.
4. Расширение перечня объектов РЭБ, обусловленное созданием оружия функционального поражения.
5. Увеличение количества целей, которые одновременно может контролировать, поражать и осуществлять подавление одна система (комплекс) РЭБ.
6. Разработка новых комплексов РЭБ с использованием принципа модульности (т.е. с открытой архитектурой построения), функциональность которых можно наращивать, добавляя дополнительные модули.

Рассмотренная концепция сетецентрического подхода к ведению военных действий оказывает непосредственное влияние на формы и способы ведения РЭБ. При этом системы ИИП и СППР, используемые для планирования операций и боевых действий в качестве неотъемлемой и основной составной части, должны включать в свой состав геоинформационные системы и учитывать особенности сетецентризма. Это позволяет решать задачи пространственного анализа и моделирования сценариев развития обстановки, визуализации на электронной карте данных о месте сосредоточения сил (войск) и средств, применяемых при использовании определенного сценария, а также определения степени риска применяемого сценария.

В рамках статьи в качестве примера предложен итерационный метод распознавания изображений объектов РЭБ, входящий в состав системы ИИП и отличающийся формированием экстремальных признаков на основе сортировки, сходимостью для широкого класса изображений, инвариантностью относительно сдвига, ротации и масштабирования, который позволяет осуществлять устойчивое построение векторов распознавания изображений с произвольными замкнутыми контурами в условиях растеризации и обладает параллелизмом.

Разработан вариант структуры данных для базы эталонов и иерархическая схема однопроходного поиска в подклассе эталонных векторов, которая позволяет идентифицировать изображение как объект РЭБ путем последовательного сравнения вектора распознавания с эталонными векторами по норме.

Выполнен программный эксперимент по распознаванию и идентификации представленных изображений (объектов РЭБ) с учетом ограниченных искажений, сдвига, ротации и масштабирования, в результате которого выявлено положительное отличие предложенного метода от известных по совокупности компонент сравнения.

В работе показана необходимость учета концепции сетецентрического подхода к ведению военных действий, которая оказывает непосредственное влияние на формы и способы ведения РЭБ в современных условиях. Предложенный вариант решения одной из задач РЭБ, а именно распознавание и классификация объектов радиоэлектронной борьбы методом моментных инвариантов, помогает автоматизировать процесс принятия решения. Практическая ценность способа идентификации состоит в применимости предложенного метода для решения актуальных задач распознавания объектов РЭБ в условиях их разнородных искажений как естественного, так и искусственного происхождения.

В качестве исходных данных можно использовать изображения, которые могут быть получены от разнородных источников информации, например [10], и формировать базу данных для геоинформационной системы, например [11].

Дальнейшие исследования по совершенствованию системы ИИП, по мнению авторов, должны быть направлены на пополнение базы данных ГИС в части:

- уточнения существующих и разработки новых моделей ведения РЭБ,
- моделей прогноза ведения РЭБ и параметров перспективных видов помех,
- разработки алгоритмов обработки информации и принятия решений на основе многокритериальной оценки оперативных данных о движении объектов РЭБ и возмущениях среды, вызванных этими объектами.

Эти вопросы и являются предметом дальнейших исследований авторов статьи.

#### Литература

1. Радиоэлектронная борьба в Военно-Морском Флоте. От Порт-Артура до наших дней. Второе издание. М.: «Оружие и технологии», 2006.— 363 с.
2. <http://structure.mil.ru/structure/forces/navy.htm> — электронный ресурс.

3. <http://www.modernarmy.ru/article/163> — электронный ресурс.
4. Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы. Оружие и технологии России. XX век. Под общ. ред. МО РФ С. Иванова. М.: «Оружие и технологии», 2006.— 686 с.
5. Титков И. В., Граневский К. В., Карюк С. А. Проблемы геоинформационного обеспечения управления силами флота в условиях сетецентрических войн // Морская радиоэлектроника. 2014. № 1 (47). С. 24–27.
6. Титков И. В. Особенности интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении средствами и комплексами радиоэлектронной борьбы. // Труды всеармейской научно-практической конференции 21–22 ноября 2013 года. Инновационная деятельность в Вооруженных силах РФ.— СПб.: ВАС, 2013. С. 268–273.
7. Титков И. В. Принципы построения системы информационно-интеллектуальной поддержки средств и комплексов радиоэлектронной борьбы в условиях сетецентрических войн. // Труды всеармейской научно-практической конференции 21–22 ноября 2013 года. Инновационная деятельность в Вооруженных силах РФ.— СПб.: ВАС, 2013. С. 273–280.
8. *Foundations of the Theory of Algebraic Invariants*, Noordhoff, Groningen, 1964.
9. Hu M. K, *Visual pattern recognition by moment invariants*, IRE Trans. Information Theory IT-8, February 1962.
10. Патент на изобретение РФ № 2582073. Способ определения аномалий на морской поверхности неконтактным радиолокационным методом / Ляпин К. К., Титков И. В., Глебов И. В. Опубликовано: 30.03.2016. Приоритет 01.07.2014.
11. Титков И. В., Граневский К. В. Разработка структуры баз данных для геоинформационных систем в интересах обеспечения управления силами флота в условиях сетецентрических войн // Морская радиоэлектроника. 2014. № 2 (48). С. 16–23.