

УДК 629.12

П.П. Чабаненко, А.А. Назаркин

Академия Военно-морских Сил им. П.С. Нахимова, Севастополь

## РАСПОЗНАВАНИЕ МОРСКИХ ЦЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СЕКТОРНО-КРУГОВОГО КОДИРОВАНИЯ КОНТУРОВ ИХ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрено распознавание морских объектов (целей) при секторно-круговом кодировании их контуров в условиях помех гауссова типа. Раскрыта сущность метода. Представлена общая схема процесса распознавания. Проведена оценка параметров кода по множеству обработанных контуров морских объектов (МО) и вероятностей распознавания различных архитектур МО в зависимости от уровня помех.

**Ключевые слова:** морской объект (МО), секторно-круговое кодирование (СКК), первичный цепной код (ПЦК), разностный цепной код (РЦК).

### Введение

**Постановка проблемы.** Возрастание количества плавсредств в районах интенсивного судоходства (проливах, рейдах, акваториях портов и т.п.), а также угроза террористической деятельности на море требуют использования новейших технических средств для круглосуточного контроля безопасности судоходства в этих районах.

Перспективное направление – использование тепловизионной техники с системой автоматического опознавания МО по тепловым изображениям. В сложной фоноцелевой обстановке (ФЦО) эффективными зарекомендовали себя методы синтаксического (структурного) распознавания [1, 2] изображений.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Метод секторно-кругового кодирования, предложенный П.П. Чабаненко [3], является альтернативой коду Х. Фримена (рис. 1). Принципиальным отличием метода СКК от традиционных структурных методов распознавания является отказ от конкретного (точного) задания производных элементов. В качестве производных элементов принимаются подмножества векторов, попадающих в соответствующие сектора. Любой вектор из заданного сектора  $k$  (рис. 1, а) считается  $k$ -м производным элементом.

На контуре изображения объекта выбирают начальную точку  $A$ . От нее, радиусом равным  $\rho_0$ , производятся засечки на линии контура в выбранном направлении по (против) часовой стрелки по всему контуру. Каждому отрезку-вектору, соединяющему соседние засечки на контуре, ставится в соответствие номер  $k$  сектора кода описания, в который он попадает, по правилу:

$$\text{при } \varphi_{k-1} < \varphi_i \leq \varphi_k \Rightarrow k; i = \overline{1, n}.$$

В сравнении с кодированием по Фримену достигается ряд преимуществ:

– не требуется координатной сетки, а используемые производные элементы имеют одинаковый размер  $\rho_0 = \text{const}$ );

– автором разработаны аналитические зависимости для оценки вероятностей классификации контуров объектов, с учётом параметров кода и помех;

– метод инвариантен к повороту контура в плоскости изображения.

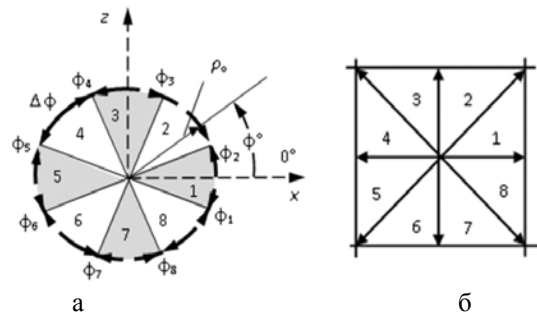


Рис. 1. Примеры кодов, применяемых в структурных методах распознавания: а – код П.П. Чабаненко:  $\rho_0$  – модуль единичного вектора,  $\Delta\varphi$  – ширина сектора,  $\varphi_k$  – границы секторов ( $k = \overline{1..K}$ ); б – код Х. Фримена с производными элементами-векторами  $1, 2, \dots, 8$  в элементарной клетке координатной сетки

Кодирование участка контура объекта СКК поясняется рис. 2.

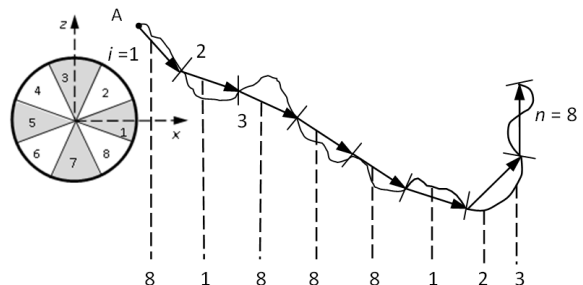


Рис. 2. Кодирование участка контура секторно-круговым кодом

Количество секторов  $K$  и радиус  $\rho_0$  могут варьироваться в зависимости от требуемой или заданной разрешающей способности датчика информации и качества распознавания.

**Постановка задачі.** Для предварительного суждения о возможностях метода СКК по распознаванию МО в сложной ФЦО было проведено исследование влияния параметров цепного кода на эффективность распознавания фактических МО при различных уровнях гауссовых помех, искажающих изображение от натурального датчика в ИК-диапазоне.

Эффективность распознавания МО оценивались при различных уровнях помехи. В качестве основного показателя эффективности принята вероятность правильного распознавания

$$P_p = f(\rho_0, K, m, d), \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – длина единичного вектора кода описания;  $K$  – количество секторов;  $m, d$  – параметры помехи.

Рассмотрены: оценки вероятности распознавания МО:

– в зависимости от уровня помехи ( $m$ -var,  $d = \text{Const}$ ) при фиксированных параметрах первичного кода;

– при фиксированном уровне помехи ( $m = \text{Const}$ ,  $d = \text{Const}$ ) в зависимости от параметров первичного цепного кода.

Определение границ области верхних значений вероятности распознавания МО разного класса, как функции длины единичного вектора и количества секторов для ряда значений высокого уровня помехи. Проверка гипотезы о существовании слабооптимальной области на множестве  $M_{im}$  натуральных изображений МО в инфракрасном диапазоне при воздействии помех  $\Pi$ :

$$S = \left\{ P_p \left( \underset{\cup}{\rho_0}, \overset{\cup}{\rho_0}, \underset{\cup}{K}, \overset{\cup}{K}; M_{im}, \Pi \right) \right\}, \quad (2)$$

где  $\underset{\cup}{\rho_0}, \overset{\cup}{\rho_0}$  – нижняя (верхняя) граница длины единичного вектора кода описания;  $\underset{\cup}{K}, \overset{\cup}{K}$  – нижняя (верхняя) граница количества секторов.

## Изложение материала исследований

Исследование проведено методом статистических испытаний, на разработанной авторами имитационной модели распознавания зашумленного изображения МО, путем сравнения цепного разностного кода (ЦРК) эталонов с ЦРК каждого из зашумленных изображений. Матрицы вероятностей распознавания (в нашем случае квадратные  $5 \times 5$ ), использовались для анализа и выводов по эффективности синтаксического распознавания фактических МО. Компьютерная реализация имитационного процесса выполнена с использованием приемов цифровой обработки в ее фрагментах из [4]. Укрупненная блок-схема процесса распознавания изображений МО представлена на рис. 3.

Концептуально модель определена:

– *областью исходных данных*, состоящей из

множества файлов эталонных изображений МО в специальном формате;

– *областью расчетных программ* (функций), представляющих главную программу и ряд вспомогательных и сервисных функций;

– *областью выходных данных*, представляющих текстовый файл матрицы правильного распознавания и промежуточную информацию о ходе выполнения программы.

*Область исходных данных* на схеме представлена прямоугольником с надписью «Файлы исходных данных».

*Область расчетных программ* является основной, включает все блоки, изображенные на схеме, за исключением «БД (файлы)» и «Экран».

*Область выходных данных* включает блоки «БД (файлы)» и «Экран».

Расчетная область включает следующие блоки:

А) Первичный цепной код МО определяется методами аналитической геометрии путем решения уравнений:

$$\left. \begin{aligned} D &= f(x, y, a, b) \\ x &= f_1(\rho_0, \text{code}) \\ y &= f_2(\rho_0, \text{code}) \\ a &= f_3(\rho_0, \text{code}) \\ b &= f_4(\rho_0, \text{code}) \\ P_i &= f_5(x_i, y_i, a_i, b_i) \\ P &= (P_1, \dots, P_k) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $\text{code}$  – матрица попиксельных координат ориентированного контура;  $x, y$  – промежуточные координаты текущих единичных векторов;  $a, b$  – текущие промежуточные коэффициенты уравнения;  $P$  – матрица ПЦК (число строк матрицы  $P$  равно длине ПЦК, число столбцов 2, по числу координат  $(x, y)$ ).

Б) Фазовый код (ФК) МО рассчитывается по формуле:

$$f_i = \arctg(y_i - y_{i-1})(x_i - x_{i-1}), \quad (4)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты начала текущего единичного вектора;  $x_{i-1}, y_{i-1}$  – координаты начала предыдущего единичного вектора.

В) Секторный код МО определяется как:

$$sc_i = \text{entir}\{fc_i * K * (2 * \pi)\} + 1, \quad (5)$$

где  $sc_i$  – значение текущего элемента секторного кода;  $\text{entir}$  – функция взятия целой части;  $fc_i$  – текущее значение фазового кода;  $K$  – принятое значение количества секторов (варьировалось).

Г) Разностный цепной код МО рассчитывается по формуле:

$$cc_{i-1} = sc_i - sc_{i-1}, \quad (6)$$

где  $cc = cc_1, \dots, cc_k$  – вектор кода РЦК;

$k$  – размерность вектора РЦК МО.

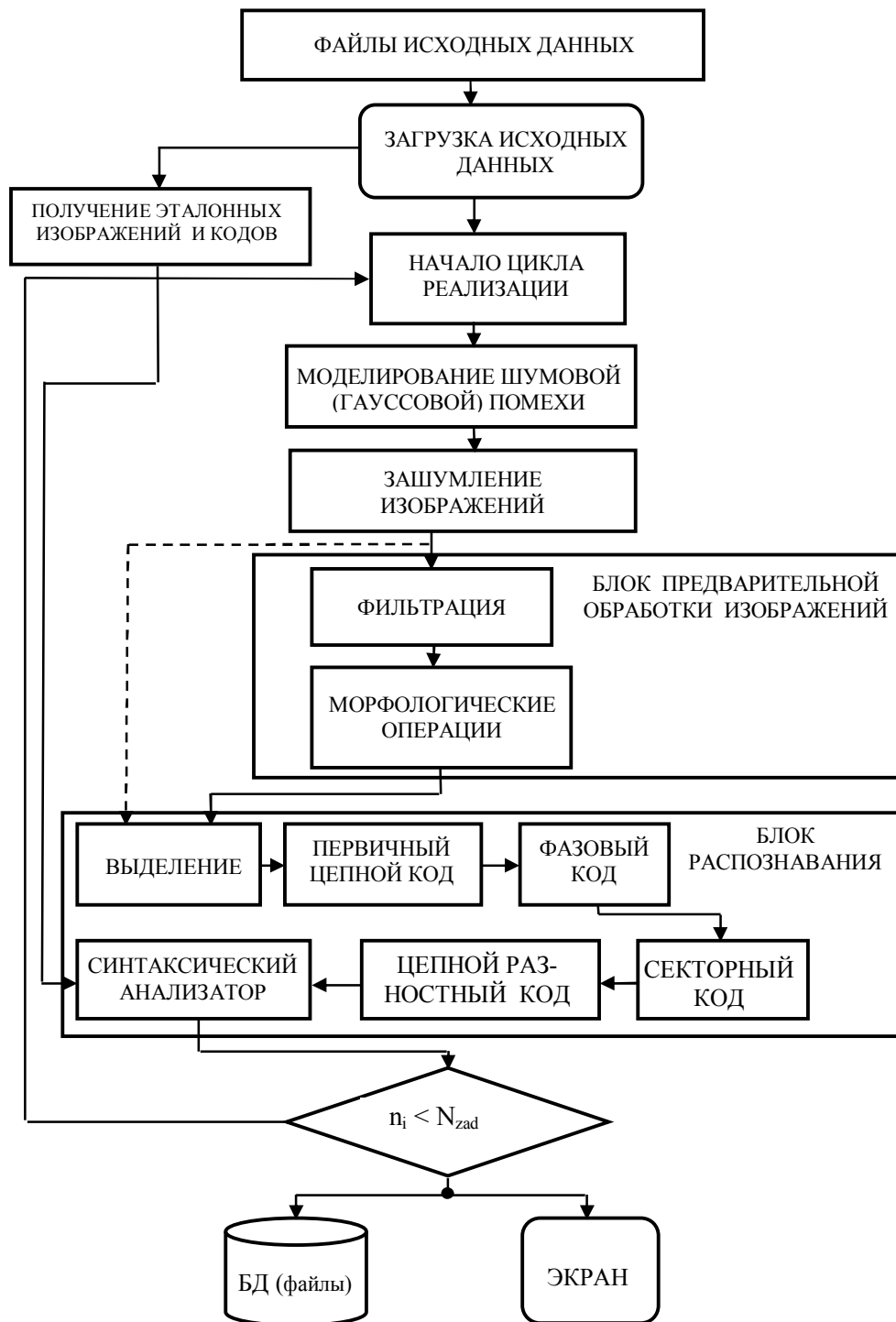


Рис. 3. Укрупненна блок-схема процесу розпізнавання зображень морських цілей

Синтаксический аналізатор здійснює:

- порівняння РЦК еталона з РЦК зашумлених МЦ;
- отримання матриці частот співпадень елементів РЦК еталонів з елементами РЦК зашумлених МЦ;
- отримання матриці ймовірностей розпізнавання МО по результатам аналізу матриць частот.

**Результати досліджень на імітаційній моделі.** Розглянуті п'ять МО різної архітектури. На рис. 4 наведено зображення:

- вихідні (верхній ряд);
- зашумлені зображення з ІК-датчика (другий ряд);
- зображення, що пройшли попередню обробку (третій ряд) при різних рівнях поємки.

Нижче наведено: результати кусочно-ломаної апроксимації контура МО (четвертий ряд) і різностний цепний код кожного контура. На рис. 5 показано тільки зашумлені, апроксимовані зображення і їх РЦК. В табл. 1 представлена матриця ймовірностей розпізнавання МО.

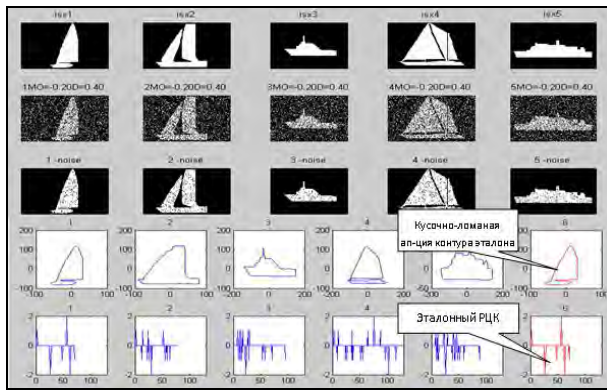


Рис. 4. Изображения эталонных (верхний ряд) и зашумленных (второй, третий ряды) морских объектов. Первичный цепной код (четвертый ряд), разностный цепной код (нижний ряд).  
 Параметры шума:  $m = -0.2$ ;  $d = 0.4$

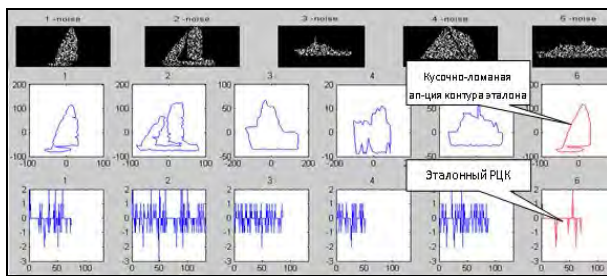


Рис. 5. Изображения зашумленных (верхний ряд) МО. Первичный цепной код, разностный цепной код (второй, третий ряды).  
 Параметры шума:  $m = -1.2$ ;  $d = 0.4$

Таблица 1

Матрица распознавания морских объектов

	1	2	3	4	5
1	0,9333	0	0,0500	0,0167	0
2	0	0,9500	0,0333	0,0167	0
3	0	0,0333	0,8667	0,0667	0,0167
4	0	0	0,0333	0,9667	0
5	0	0	0	0	1

Верхняя строка – количество образцов – эталонных морских объектов. 1-й столбец – количество образцов зашумлённых контуров МО.  $P_{ij}$  – условная вероятность принятия  $i$ -го МО за  $j$ -й МО. Элементы главной диагонали – вероятности правильного распознавания, т.е. принятия решений, что  $i$ -й зашумлённый контур принадлежит  $i$ -му МО эталону.

На рис. 6, 7 показаны семейства характеристик распознавания МО при различных размерах (модулях  $\rho_0$ ) единичных векторов.

На рис. 8 представлена поверхность вероятности правильного распознавания МО в функции от параметров первичного цепного кода.

Результаты проведенного исследования зашумленных изображений МО свидетельствуют о следующем:

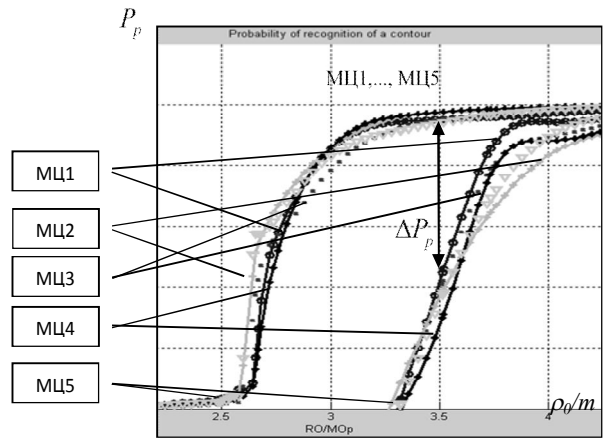


Рис. 6. Семейства зависимостей вероятности  $P_p$  правильного распознавания МО от отношения  $\rho_0/m$ . Справа – зашумленный сигнал напрямую подан на синтаксический распознаватель ( $\rho_0=8$ ;  $K=6$ ). Слева – зашумленный сигнал прошел предварительную обработку (фильтрацию). Выигрыш –  $\Delta P_p$

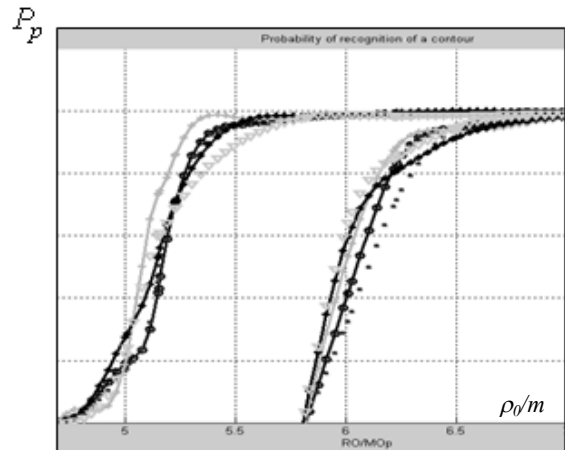


Рис. 7. Семейства зависимостей вероятности правильного распознавания МО от отношения  $\rho_0/m$ . Справа – зашумленный сигнал напрямую подан на синтаксический распознаватель ( $\rho_0 = 45$ ;  $K = 6$ ). Слева – зашумленный сигнал прошел предварительную обработку

- распознавание зашумленных изображений МО с предварительной обработкой (фильтрацией) эффективнее, чем без предварительной обработки (на рис. 6, 7 показан выигрыш  $\Delta$  в отношении  $\rho_0/m$ );

- при принятом варианте обработки и распознавании уровень помех  $m > 1,27$ ,  $d > 0,4$  вызывает развал контура изображения объекта;

- предварительная обработка (дополнительная фильтрация) позволяет до определенных пределов ( $m \approx 1,2$ ) сохранять контур изображения МО.

Анализ кривых распознавания при постоянных параметрах ПЦК в зависимости от интенсивности уровня помехи показывает, что при любых допустимых постоянных значениях параметров кода: при малых значениях уровня помехи и  $\rho_0 = \text{Const}$  слабо выражен оптимум  $K = 12$  количества секторов.

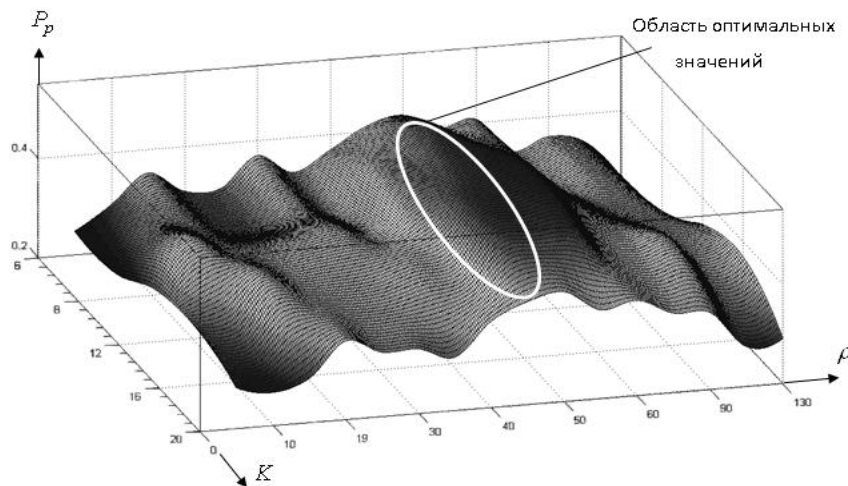


Рис. 8. Поверхність вероятності  $P_p$  правильного розпізнавання МО с параметрами ґепного кода  $(\rho_0, K, m, d)$  при  $m = -1,27$

Аналіз поверхні вероятності правильного розпізнавання (рис. 8), дозволяє сказати:

– вона має волнообразний, холмистий характер (существують області локальних максимумів і минимумів);

– при малих рівнях пошехи ( $m \leq 0,2$ ) ячество розпізнавання МО слабо зв'язано с угловим розрешенням  $\Delta\phi$  кода параметрами кода ПЦК, основне впливання при цьому оказує довжина  $\rho_0$  одиничного вектора;

– при більших рівнях пошехи ( $m > 1,0$ ) сущестує слабо виражена область раціональних значень параметрів кода для дослідованих типів МО, виділена на рис. 8.

## Выводи

1. Применение СКК для розпізнавання зображень реальних МО, полученных от ИК-датчиков информации, является эффективным средством их классификации (розпізнавання). Использование предварительной обработки (фильтрации) изображений МО также повышает эффективность розпізнавання в гауссовых помехах.

2. Существенных различий между вероятностями правильной классификации морских объектов различных классов нет. В связи с этим, для различных классов морских объектов, возможно пользоваться усреднённой вероятностной характеристикой.

3. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оценку эффективности данного метода в условиях помех иного типа.

## Список литературы

1. Фу К. Структурные методы в распознавании образов / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 319 с.
2. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий и др. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
3. Аветисян И.П. Распознавание изображений в робототехнике / И.П. Аветисян. – ОБЩЕСТВО "ЗНАНИЕ" УССР. РДЭНТП. КИЕВ, 1987. – 19 с.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М. Техносфера, 2006. – 616 с.

Поступила в редколлегию 3.05.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## РОЗПІЗНАВАННЯ МОРСЬКИХ ЦІЛЕЙ НА ОСНОВІ СЕКТОРНО-КРУГОВОГО КОДУВАННЯ КОНТУРІВ ЇХНІХ ВІДЕОЗБРАЖЕНЬ

П.П. Чабаненко, А.А. Назаркін

*Розглянуто розпізнавання морських об'єктів (цілей) при секторно-круговому кодуванні їхніх контурів в умовах перешикод гаусові типу. Розкрито сутність методу. Представлено загальну схему процесу розпізнавання. Проведено оцінку параметрів коду по множині оброблених контурів морського об'єкту (МО) і ймовірностей розпізнавання різних архітектур МО залежно від рівня перешикод.*

**Ключові слова:** морський об'єкт, секторно-кругове кодування, первинний ланцюговий код, різницевий ланцюговий код.

## THE RECOGNITION OF SEA TARGETS ON THE BASE OF SECTORAL-CIRCULAR CODING CONTOUR OF THEIR VIDEO IMAGE

P.P. Chabanenko, A.A. Nazarkin

*The recognition of sea object-integer under sectorial-circular coding contour on condition the noise gaussians type has been considered. The essence of the method has been revealed. The general scheme of the process is presented. The estimation of code parameters based on a great number of sea target processed sidebar sea target contours and probabilities of the recognition of different sea target architectures depending on level of the hindrances have been carried out.*

**Keywords:** sea target, sectorial-circular coding, primary chain code, difference chain code.