

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА АВТОМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА AUTOMATION AND INFORMATION-MEASURING EQUIPMENT

УДК 681.3

**В. П. Кожем'яко, д. т. н., проф.; С. І. Кормановський;
Т. Б. Мартинюк, к. т. н., доц.; Д. І. Клімкіна, асп.**

**В. П. Кожемяко, д. т. н., проф.; С. И. Кормановский;
Т. Б. Мартынюк, к. т. н., доц.; Д. И. Климкина, асп.**

**V. Kozhemiako, Dr. Sc. (Eng.); S. Kormanovskyy;
T. Martyniuk, Cand. Sc. (Eng.), Assist. Prof.; D. Klimkina, Post-Graduate**

НОВИЙ ПІДХІД ДО КОДУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З НЕЗАКОНОМІРНИМ КОНТУРОМ

НОВЫЙ ПОДХОД К КОДИРОВАНИЮ ИЗОБРАЖЕНИЙ С НЕЗАКОНОМЕРНЫМ КОНТУРОМ

NEW METHOD OF IMAGE IRREGULAR CONTOUR CODING

Розглянуто проблеми ефективного опису зображень з незакономірним контуром під час їх розпізнавання. У статті запропоновано новий підхід до контурного кодування зображень та досліджено його основні переваги.

Работа посвящена проблемам эффективного описания изображений с незакономерным контуром при их распознавании. В статье предложен новый подход к контурному кодированию изображений и исследованы его основные преимущества.

The paper deals with the problems of efficient description of images with irregular contour while their recognition. New method of image contour coding has been suggested, its main advantages have been investigated.

Вступ

Важливою задачею розпізнавання зображень є їх якісний опис, тобто створення такої моделі зображення, яка б дозволила ефективно представити об'єкт розпізнавання та однозначно зіставити це представлення з набором еталонних класів зображень, оскільки якість опису зображень безпосередньо впливає як на алгоритм розпізнавання, так і на конкретну його апаратну реалізацію [1—3].

Адекватного та компактного опису зображення можна досягти, використовуючи цифрове кодування [1]. Тут під адекватністю, в першу чергу, розуміють інваріантність кодованої моделі до афінних перетворень зображення (поворот, зсув, масштабування, ущільнення) [2], а під компактністю розуміють простоту та наочність процесу описування та класифікації зображень для ефективного їх розпізнавання [4—6].

Особливий інтерес викликає кодування зображень як контурно-окреслених геометричних моделей, оскільки використання інформативних контурних ознак зумовлено їх простотою, високою стійкістю та продуктивністю [3]. Перехід до обробки зображення за контурними ознаками, які є одними з найінформативніших характеристик зображеного об'єкта в його сприйнятті людиною [5], дозволяє на декілька порядків зменшити об'єм інформації у режимі реального часу, що в свою чергу є вирішальним фактором в побудові сучасних систем технічного зору [1, 3, 6, 7].

У реальному світі існує безліч об'єктів розпізнавання, які можуть бути подані як силуетні зображення, як області постійної яскравості, кольору, температури, а саме як плямоподібні зображення або зображення з незакономірним контуром [7, 8]. Отже, метою роботи є підвищення ефективності проце-

су кодування зображень з незакономірним контуром, що визначається в першу чергу підвищенням наочності та компактності цього процесу.

Вступление

Важной задачей распознавания изображений является их качественное описание, т. е. создание такой модели изображения, которая бы позволила эффективно представить объект распознавания и однозначно сопоставить это представление с набором эталонных классов изображений, поскольку качество описания изображений оказывает непосредственное влияние как на алгоритм распознавания, так и на конкретную его аппаратную реализацию [1—3].

Адекватного и компактного описания изображения можно достичь, используя цифровое кодирование [1]. Под адекватностью, в первую очередь, понимают инвариантность кодированной модели к аффинным преобразованиям изображения (поворот, сдвиг, масштабирование, сжатие) [2], а под компактностью понимают простоту и наглядность процесса описания и классификации изображений для эффективного их распознавания [4—6].

Особый интерес представляет кодирование изображений как контурно-очерченных геометрических моделей, поскольку использование информативных контурных признаков объясняется их простотой, высокой стойкостью и производительностью [3]. Переход к обработке изображения по контурным признакам, являющимся одними из самых информативных характеристик изображенного объекта при его восприятии человеком [5], позволяет на несколько порядков снизить объем информации в режиме реального времени, что в свою очередь является решающим фактором при построении современных систем технического зрения [1, 3, 6, 7].

В реальном мире существует множество объектов распознавания, которые могут быть представлены как силуэтные изображения, области постоянной яркости, цвета или температуры, а именно как пятнообразные изображения или изображения с незакономерным контуром [7, 8]. И так, целью работы является повышение эффективности процесса кодирования изображений с незакономерным контуром, который определяется в первую очередь повышением наглядности и компактности этого процесса.

Introduction

The important problem of image recognition is their qualitative description, i. e. creation of such model of image, which would allow to present, efficiently the object of recognition and unequivocally compare this representation with the set of reference classes of images, as the quality of image description has direct impact both on recognition algorithm and on its hardware realization [1—3].

Adequate and compact description of the image can be achieved applying digital coding [1]. The adequacy is first of all, the invariance of coded model to affine transformations of the image (turn, shift, scaling, compression) [2], and compactness is the simplicity and visualization of the process of description and classification of images for their efficient recognition [4—6] of special interest is image coding as contour-shaped geometrical models, since the use of planimetric, high stability and productivity [3]. Transition to image processing by planimetric attributes being one of the most informative characteristics of represented object at its perception by the human [5], allows to reduce the volume of information at several orders in real time mode, which is the determining factor for construction of modern systems of technical vision [1, 3, 6, 7].

In the real world there are numerous objects for recognition, which can be presented as silhouette images, areas of constant brightness, color or temperature, namely as spot-shape images or images with an irregular contour [7, 8]. Thus, the given paper considers new approach to coding of images, presented in general case by irregular contour.

Постановка задачі

Серед відомих методів описування двовимірної моделі зображення можна привести такі: ланцюгове кодування [9]; синтаксичне кодування; геометричне кодування, що ґрунтується на структуруванні даних [10]. Однак ці методи структурного подання зображень не можуть бути використані для безлічі динамічних об'єктів, тому що такі моделі не є інваріантними до деяких афінних перетворень (поворот, масштабування, зсув, ущільнення) і їх складно класифікувати. Виникають також проблеми з орієнтацією зображень і визначенням їх основних інформативних ознак, застосуванням принципів структурного кодування до зображень з незакономірним контуром.

В роботі [8] пропонується моделювання плямоподібних зображень, яке ґрунтується на контурному кодуванні, доведено його перспективність та детально розглянуто спосіб реалізації. Базою

даного способу є подання та опис зображення з незакономірним контуром не в традиційній декартовій, а в полярній системі координат, що робить дану модель описування зображення наочною та інваріантною до афінних перетворень.

У даній роботі пропонується новий підхід до кодування напрямків векторів в процесі обходу контуру зображень які представлені у загальному випадку незакономірним контуром.

Модифікований спосіб контурного кодування

Введемо позначення для основних понять запропонованого способу контурного кодування у полярній системі координат.

Зображення з незакономірним контуром або плямоподібне зображення — зображення, форма якого описується безліччю його граничних точок, не пов'язаних між собою певною функціональною залежністю [11].

Інформативні ознаки зображення з незакономірним контуром (рис. 1):

центр ваги зображення — внутрішня точка зображення S_1 , координати якої визначаються за критерієм центрованості [12];

центр зв'язності зображення — внутрішня точка зображення S_2 , координати якої визначаються шляхом урівноваження сум зв'язності окремих елементів зображення [13, 14];

головні внутрішні точки зображення — центр ваги та центр зв'язності зображення;

вісь орієнтації зображення — пряма S_1S_2 , що проходить від центра ваги зображення до центра зв'язності зображення.

Середовище кодування — полярна система координат, в якій розміщується зображення з незакономірним контуром та згідно з елементами якої проводять його опис та класифікацію. Розглядають такі основні елементи середовища кодування зображення з незакономірним контуром:

сітка кодування — сітка полярної системи координат, утворена її променями та концентричними колами;

промінь сітки кодування — частина полярної осі сітки кодування: півпряма з початковою точкою у полюсі O ;

концентричне коло — елементарне коло сітки кодування з центром у полюсі O та радіус-вектором ρ ;

крок відстані $\Delta\rho$ — відстань між сусідніми концентричними колами;

крок кута $\Delta\phi$ — кут між двома сусідніми променями сітки кодування;

вузол сітки кодування — точка перетину меня (полярної вісі) та концентричного кола сітки кодування.

елементарна комірка сітки кодування — еле-

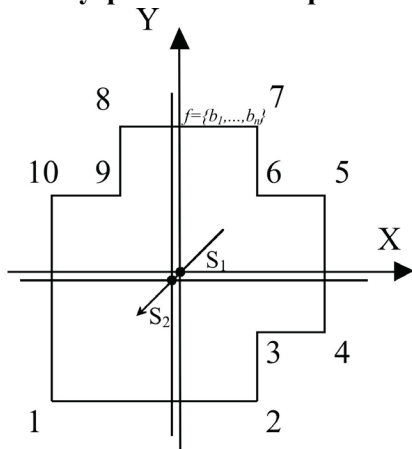


Рис. 1. Зображення з незакономірним контуром та його основні інформативні ознаки:

$f = \{b_1, \dots, b_n\}$ — крива контуру зображення; S_1 — центр ваги зображення; S_2 — центр зв'язності зображення; $S_1 S_2$ — вісь орієнтації зображення

Рис. 1. Изображение с незакономерным контуром и его основные информативные признаки:

$f = \{b_1, \dots, b_n\}$ — кривая контура изображения; S_1 — центр веса изображения; S_2 — центр связности изображения; $S_1 S_2$ — ось ориентации изображения

Fig. 1. Image with irregular contour and its basic informative attributes: $f = \{b_1, \dots, b_n\}$ — curve of image contour; S_1 — center of image weight; S_2 — center of image connectivity; $S_1 S_2$ — axis of image orientation

ментарна одиниця середовища кодування.

Введемо такі позначення для вузлів i -ї комірки: $A_i(\rho_i, \phi_i)$, $B_i(\rho_i, \phi_{i+1})$, $C_i(\rho_{i+1}, \phi_{i+1})$, $D_i(\rho_{i+1}, \phi_i)$. Розміри i -ї комірки A_i, B_i, C_i, D_i в загальному випадку визначаються значеннями $\Delta\rho$ та $\Delta\phi$ (рис. 2).

Параметри кодування — основні параметри процесу описування зображення з незакономірним контуром, якісне чи кількісне значення яких безпосередньо впливає на перебіг контурного кодування:

напрямок кодування — полярно додатний (тобто проти годинникової стрілки);

початкова точка кодування — точка перетину осі орієнтації зображення та кривої контуру зображення T ;

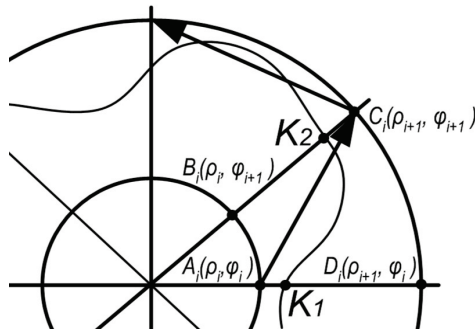


Рис. 2. Елементарний напрямок ділянки контуру зображення: $A_iB_iC_iD_i$ — елементарна i -та комірка сітки кодування; K_1, K_2 — точки перетину контуру і елементарної комірки сітки кодування; $\overline{A_1C_1}$ — елементарний напрямок 1-ї елементарної ділянки контуру зображення

Рис. 2. Элементарное направление участка контура изображения: $A_iB_iC_iD_i$ — элементарная i -я ячейка сетки кодирования; K_1, K_2 — точки пересечения контура и элементарной ячейки сетки кодирования; $\overline{A_1C_1}$ — элементарное направление 1-го элементарного участка контура изображения

Fig. 2. Elementary direction of image contour part: $A_iB_iC_iD_i$ — elementary i -th cell of coding grid; K_1, K_2 — points of crossing of contour and elementary cell of coding grid; $\overline{A_1C_1}$ — elementary direction of 1-st elementary image contour part

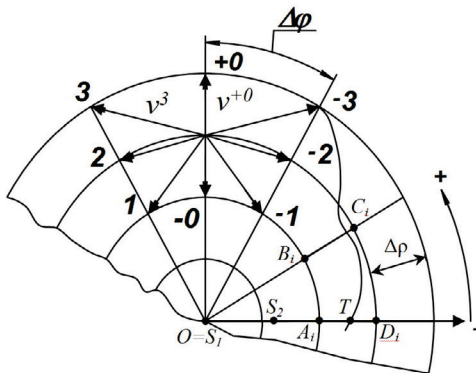


Рис. 3. Середовище та основні параметри кодування: $S_1 S_2$ — вісь орієнтації; T — початкова точка кодування; $\Delta\rho, \Delta\varphi$ — кроки сітки кодування; $A_iB_iC_iD_i$ — i -та елементарна комірка сітки кодування; v^3, v^0 — позначення окремих елементарних напрямків контуру зображення

Рис. 3. Среда и основные параметры кодирования: $S_1 S_2$ — ось ориентации; T — начальная точка кодирования; $\Delta\rho, \Delta\varphi$ — шаги сетки кодирования; $A_iB_iC_iD_i$ — i -я элементарная ячейка сетки кодирования; v^3, v^0 — обозначение отдельных элементарных направлений контура изображения

Fig. 3. Environment and key parameters of coding: $S_1 S_2$ — axis of orientation; T — index point of coding; $\Delta\rho, \Delta\varphi$ — steps of coding grid; $A_iB_iC_iD_i$ — i -th elementary cell of coding grid; v^3, v^0 — designation of separate elementary image contour directions.

елементарна ділянка контуру зображення — частина кривої незакономірного контуру, обмежена елементарною коміркою сітки кодування. При достатньо обраній точності елементарна ділянка контуру перетинає елементарну комірку сітки кодування в двох точках K_1 та K_2 ;

елементарний напрямок контуру зображення — просторовий напрямок одного з векторів, початкова та кінцева точки якого є вузлами елементарної комірки сітки кодування та який є максимально наближений до напрямку вектора $\overline{K_1K_2}$.

Так, наприклад, в елементарній комірці $ABCD$, поданій на рис. 2, першим елементарним напрямком контуру зображення є напрямок вектора $\overline{A_1C_1}$, оскільки він є найближчим до напрямку вектора $\overline{K_1K_2}$ ($\varphi_{K_2} - \varphi_{B_1} > \varphi_{C_1} - \varphi_{K_2}$, тобто т. K_2 ближче до вузла C_1 , ніж до вузла B_1 ; аналогічно для т. K_1 , що ближча до вузла A_1).

В кодуванні зображення з незакономірним контуром можливі вісім елементарних напрямків кодування, зображених на рис. 3.

Позначимо елементарні напрямки кодування як $v^0, v^1, v^2, v^3, v^0, v^{-1}, v^{-2}, v^{-3}$ та визначимо відповідні їм значення коду $-0, 1, 2, 3, 0, -1, -2, -3$, що присвоюються елементарній ділянці контуру в залежності від орієнтації векторів комірок (табл. 1).

Тоді, згідно з рис. 3 та табл. 1, елементарна ділянка контуру зображення, показана на рис. 2, з елементарним напрямком контуру $\overline{A_1C_1}$ отримає код «3»; наступна — код «2».

Таблиця 1

Позначення і параметри напрямків контуру зображення
Обозначения и параметры направлений контура изображения
Designations and parameters of image contour directions

Позначення Обозначение Designation	Код Код Code	Зміна кроків сітки кодування Изменение шагов сетки кодирования Change of steps of coding grid
v^0	-0	(0; $-\Delta\rho$)
v^1	1	($+\Delta\varphi$; $-\Delta\rho$)
v^2	2	($+\Delta\varphi$; 0)
v^3	3	($+\Delta\varphi$; $+\Delta\rho$)
v^0	0	(0; $+\Delta\rho$)
v^{-1}	-1	($-\Delta\varphi$; $-\Delta\rho$)
v^{-2}	-2	($-\Delta\varphi$; 0)
v^{-3}	-3	($-\Delta\varphi$; $+\Delta\rho$)

Слід зазначити, що в розгляді елементарної ділянки контуру зображення важливим є поняття **точки невизначеності** — точки, що розділяє відрізок елементарного променя чи елементарної дуги сітки кодування навпіл. В разі збігання точки K_1 з точкою невизначеності найближчим вузлом комірки сітки кодування, що

стане кінцем вектора елементарного напрямку, вважається $A_i(\rho_i, \varphi_i)$ для $K_1 \in A_i B_i$; $B_i(\rho_i, \varphi_{i+1})$ для $K_1 \in B_i C_i$; $C_i(\rho_{i+1}, \varphi_{i+1})$ для $K_1 \in C_i D_i$; $D_i(\rho_{i+1}, \varphi_i)$ для $K_1 \in D_i A_i$.

Розглянемо **основні принципи** модифікованого способу контурного кодування зображення з незакономірним контуром.

Нехай зображення із замкненим незакономірним контуром задане у полярній системі координат і для такого зображення попередньо проведено бінаризацію та виділення контуру [7], а також визначено основні інформаційні ознаки: головні внутрішні точки зображення та вісь орієнтації, напрям кодування та координати початкової точки кодування.

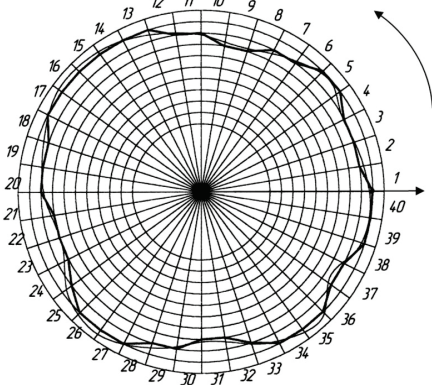


Рис. 4. Приклад кодування зображення з незакономірним контуром

Рис. 4. Пример кодирования изображения с незакономерным контуром

Fig. 4. Example of coding of the image with irregular contour

Загальним результатом контурного кодування вважатимемо цифровий ланцюговий код, складений значеннями, що відповідають восьми елементарним напрямкам контуру зображення (табл.). Процес формування результуючого цифрового коду є ітераційним, тобто, рухаючись із заданим кроком дискретизації по елементарних комірках сітки кодування, для кожної елементарної ділянки контуру зображення визначається його елементарний напрямок.

На рис. 4 показано приклад процесу кодування зображення з незакономірним контуром. Результуючий код даного зображення з незакономірним контуром буде мати такий вигляд:

122321212323222212212233221212332212322.

Довжина коду — 40 елементів.

Постановка задачі

Среди известных методов описания двумерной модели изображения можно привести такие: цепное кодирование [9]; синтаксическое кодирование; геометрическое кодирование, которое основано на структурировании данных [10]. Однако эти методы структурного представления изображений не могут быть использованы для множества динамических объектов, так как такие модели не являются инвариантными к некоторым аффинным преобразованиям (поворот, масштабирование, сдвиг, сжатие) и их сложно классифицировать. Возникают также проблемы с ориентацией изображений и определением их основных информативных признаков, применением принципов структурного кодирования к изображениям с незакономерным контуром.

В работе [8] предлагается моделирование пятнообразных изображений, основанное на контурном кодировании. Здесь доказана его перспективность и детально рассмотрен способ его реализации. Основу данного способа составляет представление и описание изображения с незакономерным контуром не в традиционной декартовой, а в полярной системе координат, что делает данную модель описания изображения наглядной и инвариантной к аффинным преобразованиям.

В данной работе предлагается новый подход к кодированию направлений векторов в процессе обхода контура изображений, которые в общем случае представлены незакономерным контуром.

Модифицированный способ контурного кодирования

Введем обозначения для основных понятий предложенного способа контурного кодирования в полярной системе координат.

Изображение с незакономерным контуром — изображение, форма которого описывается множеством его предельных точек, несвязанных между собой определенной функциональной зависимостью [11].

Информативные признаки изображения с незакономерным контуром (рис. 1):

центр веса изображения — внутренняя точка изображения S_1 , координаты которой определяются по критерию центрированности [12];

центр связности изображения — внутренняя точка изображения S_2 , координаты которой определяются путем уравнивания сумм связности отдельных элементов изображения [13, 14];

главные внутренние точки изображения — центр веса и центр связности изображения;

ось ориентации изображения — прямая $S_1 S_2$, которая проходит от центра веса изображения к центру связности изображения.

Среда кодирования — полярная система координат, в которой размещается изображение с незакономерным контуром и согласно элементам, которой проводят его описание и классификацию. Рассматривают такие основные элементы среды кодирования изображения с незакономерным контуром:

сетка кодирования — сетка полярной системы координат, образованная ее лучами и концентрическими окружностями;

луч сетки кодирования — часть полярной оси сетки кодирования: полупрямая с начальной точкой в полюсе O ;

концентрическая окружность — элементарная окружность сетки кодирования с центром в полюсе O и радиусом-вектором ρ ;

шаг расстояния $\Delta\rho$ — расстояние между соседними концентрическими окружностями;

шаг угла $\Delta\varphi$ — угол между двумя соседними лучами сетки кодирования;

узел сетки кодирования — точка сечения луча (полярной оси) и концентрической окружности сетки кодирования.

элементарная ячейка сетки кодирования — элементарная единица среды кодирования.

Введем такие обозначения для узлов i -й ячейки: $A_i(\rho_i, \varphi_i)$, $B_i(\rho_i, \varphi_{i+1})$, $C_i(\rho_{i+1}, \varphi_{i+1})$, $D_i(\rho_{i+1}, \varphi_i)$. Размеры i -й ячейки $A_i B_i C_i D_i$ в общем случае определяются значениями $\Delta\rho$ и $\Delta\varphi$ (рис. 2).

Параметры кодирования — основные параметры процесса описания изображения с незакономерным контуром, качественное или количественное значение которых непосредственно влияет на ход контурного кодирования:

направление кодирования — полярно положительное (т. е. против часовой стрелки);

начальная точка кодирования — точка сечения оси ориентации изображения и кривой контура изображения T ;

элементарный участок контура изображения — часть кривой незакономерного контура, ограниченная элементарной ячейкой сетки кодирования. При правильно подобранной точности элементарный участок контура пересекает элементарную ячейку сетки кодирования в двух точках K_1 и K_2 .

элементарное направление контура изображения — пространственное направление одного из векторов, начальная и конечная точки которого являются узлами элементарной ячейки сетки кодирования и который является максимально приближенным к направлению вектора $\overline{K_1 K_2}$.

Так, например, в элементарной ячейке $ABCD$, представленной на рис. 2, первым элементарным направлением контура изображения является направление вектора $\overline{A_1 C_1}$, поскольку оно ближайшее к направлению вектора $\overline{K_1 K_2}$ ($\varphi_{K_2} - \varphi_{B_1} > \varphi_{C_1} - \varphi_{K_2}$, т. е. K_2 расположена ближе к узлу C_1 , чем к узлу B_1 ; аналогично для т. K_1 , которая ближе к узлу A_1).

При кодировании изображения с незакономерным контуром возможны восемь элементарных направлений кодирования, изображенных на рис. 3.

Обозначим элементарные направления кодирования как $v^0, v^1, v^2, v^3, v^0, v^{-1}, v^{-2}, v^{-3}$ и определим соответствующее им значение кода — 0, 1, 2, 3, 0, -1, -2, -3, которые присваиваются элементарному участку контура в зависимости от ориентации векторов ячеек (табл. 1).

Тогда, согласно рис. 3 и табл. 1, элементарный участок контура изображения, представленный на рис. 2, с элементарным направлением контура $\overline{A_1 C_1}$ получит код «3»; следующий — код «2».

Необходимо отметить, что при рассмотрении элементарного участка контура изображения важным является понятие **точки неопределенности** — точки, которая разделяет отрезок элементарного луча или элементарной дуги сетки кодирования пополам. При совпадении точки K_1 с точкой неопределенности ближайшим узлом ячейки сетки кодирования, который станет концом вектора элементарного направления, считается $A_i(\rho_i, \varphi_i)$ при $K_1 \in A_i B_i$; $B_i(\rho_i, \varphi_{i+1})$ при $K_1 \in B_i C_i$; $C_i(\rho_{i+1}, \varphi_{i+1})$ при $K_1 \in C_i D_i$; $D_i(\rho_{i+1}, \varphi_i)$ при $K_1 \in D_i A_i$.

Рассмотрим **основные принципы** модифицированного способа контурного кодирования изображения с незакономерным контуром.

Пусть изображение с замкнутым незакономерным контуром задано в полярной системе координат и для такого изображения предварительно проведена бинаризация и выделение контура [7], а также определены основные информационные признаки: главные внутренние точки изображения и ось ориентации, направление кодирования и координаты начальной точки кодирования.

Общим результатом контурного кодирования будем считать цифровой цепной код, составленный значениями, которые отвечают восьми элементарным направлениям контура изображения (табл. 1). Процесс формирования результирующего цифрового кода является итерационным, т. е., двигаясь с заданным шагом дискретизации по элементарным ячейкам сетки кодирования, для каждого элементарного участка контура изображения определяется его элементарное направление.

На рис. 4 показан пример процесса кодирования изображения с незакономерным контуром.

Результирующий код данного изображения с незакономерным контуром будет иметь следующий вид: 122321212323222212212233221212332212322. Длина кода — 40 элементов.

Statement of the problem

There are many different methods of the image description: chain coding [9]; syntactic coding; geometrical coding which is based on structurization of the data [10]. However these methods of structural representation of images cannot be used for the set of dynamic objects because such models are not invariant to some of affine transformations (turn, scaling, shift, compression) and they are difficult for classifying. There are also problems with orientation of images and determination of their basic informative attributes, application of principles of structural irregular contour coding.

The modeling of spot-like images based on planimetric coding is offered in work [8]. Here its perspectivity is proved and the method of its realization is considered in details. The basis of this approach is representation and description of the image with an irregular contour not in traditional cartesian, but in polar system of coordinates that makes the given model of the description of the image evident and invariant to affine transformations.

In this paper the new method of image coding according to directions of contour vectors is offered. The purpose of work is increase of efficiency of process of images coding with an irregular contour which is defined first of all by the increase of visualization and compactness of the process.

The modified method of contour coding

Let's introduce designations for the basic concepts of the offered method of contour coding in polar co-ordinates.

The image with an irregular contour — the image, which form is described by the set of its limiting points, which are not interconnected by certain functional dependence [11].

Informative attributes of the image with irregular contour (fig. 1):

image weight center — an internal point of image S_1 with coordinates determined by criterion of centering [12];

image connectivity center — an internal point of image S_2 with coordinates determined by balancing of sums of connectivity of separate image elements [13, 14];

main internal points of the image — image weight center and image connectivity center;

image orientation axis — straight line S_1S_2 from the image weight center to image connectivity center.

The environment of coding — polar co-ordinates system where the image with irregular contour is placed and according to elements of which its description and classification is carried out. Consider such basic elements of the environment of coding of the image with irregular contour:

grid of coding — grid of polar co-ordinates, formed by its beams and concentric circles;

beam of coding grid — part of a polar axis of coding grid: half-line with an index point at the pole O ;

concentric circle — elementary circle of coding grid with the center in pole O and a radius-vector ρ ;

step of distance $\Delta\rho$ — distance between neighboring concentric circles;

step of angle $\Delta\varphi$ — an angle between two neighboring beams of coding grid;

node of coding grid — point of section of a beam (a polar axis) and concentric circle of coding grid;

elementary cell of coding grid — elementary unit of coding environment.

Let's introduce such designations for units of i -th cell: $A_i(\rho_i, \varphi_i)$, $B_i(\rho_i, \varphi_{i+1})$, $C_i(\rho_{i+1}, \varphi_{i+1})$, $D_i(\rho_{i+1}, \varphi_i)$. Sizes of i -th cell $A_iB_iC_iD_i$ in general are determined by values of $\Delta\rho$ and $\Delta\varphi$ (fig. 2).

Parameters of coding — basic parameters of process of the description of the image with irregular contour qualitative or quantitative value of which directly influences the process of contour coding:

direction of coding — polar positive (i. e. counter-clockwise);

index point of coding — a point of section of image axis orientation and a curve of image contour T ;

elementary part of image contour — a part of a curve of the irregular contour, limited by elementary cell of coding. grid At correctly selected accuracy the elementary part of contour crosses elementary cell of coding grid in two points K_1 and K_2 .

elementary direction of image contour — a spatial direction of one of the vectors, which initial and final points of which are nodes of elementary cell of coding grid and which is as much as possible close to the direction of vector $\overline{K_1K_2}$.

For example, in the elementary cell $ABCD$, submitted in fig. 2, the first elementary direction of image contour is the direction of vector $\overline{A_1C_1}$, because it is the nearest to the direction of vector $\overline{K_1K_2}$ ($\varphi_{K_2} - \varphi_{B_1} > \varphi_{C_1} - \varphi_{K_2}$, i. e. K_2 is located closer to node C_1 , than to node B_i ; similarly for

K_1 , which is closer to node A_1).

At coding the image with irregular contour eight elementary directions of coding, represented in fig. 3, are possible.

Let's designate elementary directions of coding as $v^0, v^1, v^2, v^3, v^0, v^{-1}, v^{-2}, v^{-3}$ and determine their corresponding values of the code — 0, 1, 2, 3, 0, -1, -2, -3, which are assigned to elementary part of contour depending on orientation of vectors of cells (Table. 1).

Then, according to fig. 3 and Table. 1, elementary part of image contour, presented in fig. 2, with elementary direction of a contour $\overline{A_1C_1}$ will obtain code "3"; the next one — code "2".

It is necessary to note, that considering elementary part of image contour there is another rather important concept — **point of uncertainty** — point which divides a section of elementary beam or elementary arch of coding grid in 2 halves. At coincidence of point K_1 with point of uncertainty the nearest node of the cell of coding grid which becomes the end of the vector of elementary direction, becomes $A_i(\rho_i, \varphi_i)$ if $K_1 \in A_iB_i$, $B_i(\rho_i, \varphi_{i+1})$ if $K_1 \in B_iC_i$, $C_i(\rho_{i+1}, \varphi_{i+1})$ if $K_1 \in C_iD_i$, $D_i(\rho_{i+1}, \varphi_i)$ if $K_1 \in D_iA_i$.

Let's consider **main principles** of the modified method of coding of the image with irregular contour.

Let the image with the closed irregular contour be set in polar co-ordinates and for such image binarization and allocation of contour [7] is carried out preliminary, and the information attributes are determined: the main image internal points of the image and orientation axis, direction of coding and coordinates of index point of coding.

The general result of contour coding is the digital chain code composed of values which correspond to eight elementary directions of image contour (Table. 1). Process of formation of resulting digital code is iterative, i. e., moving with pre set step of digitization by elementary cells of coding grid, for each elementary part of image contour its elementary direction is determined.

Figure. 4 gives the example of process of the image coding with irregular contour The resulting code of the given image with irregular contour will have the following form: 1223212123232222212212233221212332212322. Length of the code — 40 elements.

Висновки

В статті запропоновано новий підхід до кодування зображень з незакономірним контуром, що базується на поданні та описуванні зображення не в традиційній декартовій, а в полярній системі координат. Цей підхід відрізняється від відомих методів описування зображення тим, що, по-перше, об'єкт розпізнавання подано через геометрію контуру — найхарактернішу його ознаку; по-друге, отриманий код є адекватним і компактним, тобто простим, наочним та інваріантним до афінних перетворень зображення (поворот, зсув, масштабування, ущільнення); по-третє, опис зображення є зручним для апаратної реалізації, оскільки результуючий код складають цифри зі знаком, для представлення яких вистачає лише трьох бітів.

Отже, на основі даного опису може бути побудована класифікація зображень, яка в подальшому може використовуватися для створення бази даних зображень з незакономірним контуром.

Выводы

В статье предложен новый подход к кодированию изображений с незакономерным контуром, который базируется на представлении и описании изображения не в традиционной декартовой, а в полярной системе координат. Данный подход отличается от существующих методов описания изображения тем, что, во-первых, объект распознавания представлен с помощью геометрии контура — самого характерного его признака; код является адекватным и компактным, т. е. простым, наглядным и инвариантным к аффинным преобразованиям изображения (поворот, сдвиг, масштабирование, сжатие); во-вторых, описание изображения является удобным для аппаратной реализации, поскольку результующий код составляют цифры со знаком, для представления которых хватает лишь трех битов.

Таким образом, на основе данного описания может быть построена классификация изображений, которая в дальнейшем может использоваться для создания базы данных изображений с незакономерным контуром.

Conclusion

In the given paper the new approach to coding images with irregular contour based on representation and the description of the image not in traditional cartesian, but in polar co-ordinates has been offered. The given approach differs from existing methods of image description by the following features: first, the object of recognition is presented using geometry of the contour — its most characteristic attribute; second, the code is adequate and compact, i. e. simple, visual and

invariant to affine transformations of the image (turn, shift, scaling, compression); third, the description of the image is convenient for hardware realization because the resulting code is composed of figures with signs, their presentation requires only three bits.

Thus, proceeding from such description classification of images can be elaborated. The given classification may be used for creation of database of images with irregular contour.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
REFERENCE

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. В 2-х кн. — М.: Мир, 1982. — Кн.1. — 310 с., кн. 2. — 790 с.
2. Форсайт Д. А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. — М.: Издат. Дом «Вильямс», 2004. — 928 с.
3. Кожем'яко В. П., Мартинюк Т. Б. Архітектура і алгоритми обробки зображень: Навчальний посібник. — Вінниця: ВДГУ, 2000. — 128 с.
4. Марр Д. Зрение. Информационный поход к изучению представления и обработке зрительных образов. — М.: Радио и связь, 1990. — 192 с.
5. Гупал А. М., Сергиенко И. В. Оптимальные процедуры распознавания // Кибернетика и системный анализ. — 2003. — № 1. — С. 21—29.
6. Сторож В. В. Ограничение классических подходов к распознаванию образов // Искусственный интеллект. — 2002. — № 3. — С.172—186.
7. Введение в контурный анализ и его приложения в обработке изображений и сигналов / Под ред. Я. А. Фурмана. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 592 с.
8. Кормановський С.І. Геометричне моделювання плямоподібних зображень динамічних об'єктів // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2004. — № 1(7). — С. 7—10.
9. Freeman H. On the Encoding of Arbitrary Geometric Configurations. // IRE Trans. — 1961. — V. EC-10(2), — № 6. — P. 260—268.
10. Гардан И., Люка М. Машинная графика. — М.: Мир, 1987. — 270 с.
11. Математика в понятиях, визначеннях і термінах: В 2-х ч.: Ч. 1 / О. В. Мантуров, Ю. К. Солнцев, Н. Г. Федін. — К.: Рад. шк., 1986. — 383 с.
12. Кормановський С. І. Математична модель і алгоритм визначення координат центра ваги і моментів інерції зображення // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 1999. — № 1. — С. 61—64.
13. Холковский Ю. Р., Кормановський С. І. Алгоритм визначення центра зв'язності // Прикладна геометрія й інженерна графіка. — К.: 1995. — Вип. 58. — С. 190—192.
14. Кормановський С. І., Швейкі Нафез, Тимченко Л. І. Підхід до визначення центру зв'язності зображення // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2001. — № 4. — С. 71—73.

Рекомендована кафедрою лазерної та оптоелектронної техніки

Надійшла до редакції 15.07.05
Рекомендована до друку 29.09.05

Кожем'яко Володимир Прокопович — завідувач кафедри, **Мартинюк Тетяна Борисівна** — доцент, **Клімкіна Дар'я Ігорівна** — аспірант.

Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки;

Кормановський Сергій Іванович — старший викладач кафедри інженерної та комп'ютерної графіки.

Вінницький національний технічний університет

Кожемяко Владимир Прокопьевич — заведующий кафедрой, **Мартинюк Татьяна Борисовна** — доцент, **Климкина Дарья Игоревна** — аспирант.

Кафедра лазерной и оптоэлектронной техники;

Кормановский Сергей Иванович — старший преподаватель кафедры инженерной и компьютерной графики.

Винницкий национальный технический университет

Volodymyr Kozhemiako — Head of the Chair, **Tetiana Martyniuk** — Assistant Professor, **Daria Klimkina** — Post-Ggraduate Student.

Chair of Laser and Optoelectronic Engineering;

Sergiy Kormanovskyy — Senior lecturer of the Chair of engineering and computer graphics.

Vinnitsia National Technical University