

ВЕКТОРНО-НОРМАЛИЗОВАННЫЙ МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ГРУППОВЫХ ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

М.В. Дубровкина, канд. техн. наук

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Искра», г. Луганск

В статье разработан модифицированный векторно-нормализованный метод распознавания групповых точечных объектов (ГТО) произвольной формы, который обеспечивает достоверность распознавания с учетом геометрических характеристик ГТО, их сложных произвольных искажений и характеристик изображения.

Ключевые слова: *групповой точечный объект, распознавание объектов, сложные произвольные искажения, векторно-модифицированный метод, достоверность распознавания.*

У статті розроблено модифікований векторно-нормалізований метод розпізнавання групових точкових об'єктів (ГТО) довільної форми, який забезпечує достовірність розпізнавання з урахуванням геометричних характеристик ГТО, їх складних довільних спотворень і характеристик зображення.

Ключові слова: *груповий точковий об'єкт, розпізнавання об'єктів, складні довільні спотворення, векторно-модифікований метод, достовірність розпізнавання.*

ВВЕДЕНИЕ

К задачам распознавания относятся задачи технической и медицинской диагностики, управления технологическими процессами, прогнозирования свойств химических соединений, обнаружения и идентификации статических и динамических объектов, в том числе земной и водной поверхности и воздушного пространства, астроориентации и т.д. Группу объектов, объединенных общими свойствами, формой которых можно пренебречь, можно рассматривать как групповой точечный объект (ГТО).

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе распознавании объектов особую актуальность приобретает обеспечение достоверности распознавания объектов в условиях принятия решения по неполной, противоречивой информации и наличии помех.

В [1] описан метод идентификации звезд на снимке. Основан на получении координат звезд и нахождении косинусов для каждой пары звезд. Однако при распознавании ГТО с большим количеством элементов это приведет к громоздкости вычислений и увеличению погрешности при определении координат элементов. Также в данном методе дополнительно введены координаты точки весеннего равноденствия как базового элемента.

В [2, 3] автором был разработан метод распознавания двумерного прямоугольного перфорированного кода, который позволяет однозначно идентифицировать объекты в условиях помех, аффинных преобразований и нелинейных искажений. Ограничениями данного метода являются:

- необходимость одинаковых на всех ГТО базовых элементов;
- форма группового точечного объекта (прямоугольная форма кода);
- фиксированное число (количество) элементов ГТО;

- одинаковое (фиксированное) расстояние (шаг) между элементами ГТО;
- бинарное изображение ГТО;
- виды искажений ГТО, строго определенные и свойственные определенному технологическому процессу;
- фиксированное разрешение изображения ГТО.

Однако большинство ГТО не удовлетворяют данным ограничениям. Для распознавания ГТО произвольной формы необходим метод, который обеспечивает достоверность распознавания с учетом: количества элементов ГТО и шага между элементами, формы ГТО, сложных произвольных искажений ГТО и характеристик его изображения.

Поэтому разработка модифицированного векторно-нормализованного метода распознавания групповых точечных объектов произвольной формы является актуальным.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработка модифицированного векторно-нормализованного метода распознавания групповых точечных объектов произвольной формы, обеспечивающего достоверность распознавания ГТО с учетом его характеристик.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Групповой точечный объект G – это объект, состоящий из множества элементов (объектов) $E = \{e_g\}$, где $g = \overline{1, n}$ с размерами $B = \{b_g\}$ и $S = \{s_{g, g \pm h}\}$ расстояниями между g -м и $g \pm h$ -м элементами, где $g \pm h = \overline{1, n}$ (при этом расстояние между элементами не превышает некоторого порога ΔS) [4]. Т.е. групповой точечный объект

$$G = E = \{e_i\} : S = \{s_{j,k}\} \leq \Delta S, \quad g, g \pm h = \overline{1, n}. \quad (1)$$

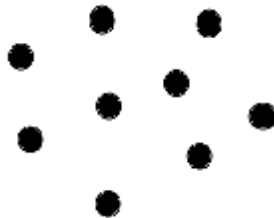


Рисунок 1 - Изображение ГТО

Основными характеристиками ГТО являются:

- геометрические (форма ГТО, количество элементов ГТО, расстояние между его элементами);
- сложные произвольные искажения ГТО);
- характеристики изображения (разрешение изображения ГТО, яркость пикселей элементов ГТО, цветовые составляющие ГТО (в системах RGB и CMYK)).

Каждому групповому точечному объекту (ГТО) G можно поставить в соответствие конечный набор признаков

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (2)$$

однозначно определяющий ГТО G среди множества других ГТО.

На основании проведенной в [2] оценки информативности установлено, что наиболее информативными признаками ГТО, которые при распознавании позволяют учитывать его аффинные преобразования, а также нелинейные искажения, являются значение и направления радиус-векторов от центра тяжести ГТО до центра тяжести каждого из элементов ГТО.

Следовательно

$$X = \{V, N\}. \quad (3)$$

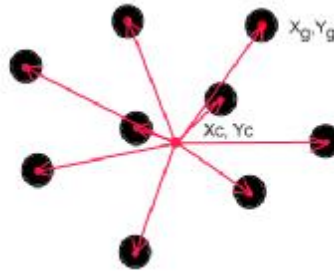


Рисунок 2 - Построение радиус-векторов от центра тяжести ГТО до центра тяжести каждого элемента ГТО

В разработанном модифицированном векторно-нормализованном методе распознавание выполняется с учетом яркости и цветовых составляющих пикселей элементов группового точечного объекта и выполняется в несколько этапов:

1. Нахождение центра тяжести каждого элемента ГТО по формулам [5]:

$$X_g = \frac{\sum_{i=0}^p \frac{i \cdot \sum_{j=0}^k Lg_{i,j}}{\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^k Lg_{i,j}}}{\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^k Lg_{i,j}}, \quad Y_g = \frac{\sum_{j=0}^k \frac{j \cdot \sum_{i=0}^p Lg_{i,j}}{\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^k Lg_{i,j}}}{\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^k Lg_{i,j}}, \quad (4)$$

где $Lg_{i,j}$ – яркость пикселя изображения, который расположен в области g -го элемента ГТО, $g = 1, 2, \dots, m$ (m – количество элементов ГТО), $i = 0, 1, \dots, p-1$, $j = 0, 1, \dots, k-1$ (p, k – количество строк и столбцов пикселей в полученном изображении ГТО).

2. Нахождение центра тяжести всего ГТО по формулам

$$X = \frac{\sum_{i=0}^p \frac{i \cdot \sum_{j=0}^k L_{i,j}}{\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^k L_{i,j}}}{\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^k L_{i,j}}, \quad Y = \frac{\sum_{j=0}^k \frac{j \cdot \sum_{i=0}^p L_{i,j}}{\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^k L_{i,j}}}{\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^k L_{i,j}}, \quad (5)$$

где $L_{i,j}$ – яркость пикселя изображения ГТО.

3. Нахождение радиусов-векторов V_g (расстояния от центра тяжести ГТО до каждого элемента ГТО) вычисляется по формуле

$$V_g = \sqrt{(X - X_g)^2 + (Y - Y_g)^2}. \quad (6)$$

4. В результате предыдущих этапов получена матрица значений радиусов-векторов V :

$$V = [V_g] = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где n – количество элементов ГТО.

5. Выполнение сортировки значений V по убыванию (ранжирование):
- нахождение минимального значения V ;
 - построение матрицы Vc по следующему принципу:

$$Vc = [Vc_g] = \begin{bmatrix} Vc_1 \\ Vc_2 \\ \dots \\ Vc_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Vc_{\max} \\ \dots \\ Vc_{\min} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Vc_1 > \text{любого } Vc_g \\ Vc_1 > Vc_2 > \text{любого } Vc_g \\ \dots \\ Vc_n < \text{любого } Vc_g \end{bmatrix}. \quad (8)$$

6. Построение матриц координат центров тяжести элементов ГТО в соответствии с матрицей Vc :

$$Xc = [Xc_g] = \begin{bmatrix} Xc_1 \\ Xc_2 \\ \dots \\ Xc_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xc_{Vc \max} \\ \dots \\ Xc_{Vc \min} \end{bmatrix} \quad \text{и} \quad Yc = [Yc_g] = \begin{bmatrix} Yc_1 \\ Yc_2 \\ \dots \\ Yc_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Yc_{Vc \max} \\ \dots \\ Yc_{Vc \min} \end{bmatrix} \quad (9)$$

7. Нахождение направлений радиусов-векторов, заданных углами N_g .

Для обеспечения инвариантности метода распознавания к повороту исходного изображения необходимо вычислить координаты дополнительного центра тяжести ГТО и определить нулевой вектор. Для этого на основании матрицы Vc строится матрица Vb следующего вида:

$$Vb = [Vb_g] = \begin{bmatrix} Vb_1 \\ Vb_2 \\ \dots \\ Vb_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Vb_{\max} \\ \dots \\ Vb_r \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где r – количество элементов, участвующее в вычислении дополнительного центра тяжести ($1 < r < n$). Число r с одной стороны ограничено исключением определения дополнительного центра по ошибочным элементам и достаточностью для описания формы ГТО, а с другой стороны – сложностью вычислений и минимальным пороговым расстоянием между основным и дополнительным центрами тяжести.

При помощи данных из (9) вычисляются координаты дополнительного центра тяжести по формулам

$$Xb = \frac{\sum_{g=1}^r Xc_g}{r} \quad Yb = \frac{\sum_{g=1}^r Yc_g}{r} . \quad (11)$$

Таким образом, в вычислении координат нулевого вектора участвуют элементы ГТО, имеющие r наибольших значений радиусов-векторов от центра тяжести ГТО до центра каждого элемента. Этот этап также обеспечивает инвариантность метода к зеркальному отображению и смещению ГТО.

В качестве нулевого вектора при нахождении направлений радиусов-векторов используется вектор между центром тяжести ГТО и дополнительным центром тяжести (рисунок 3).

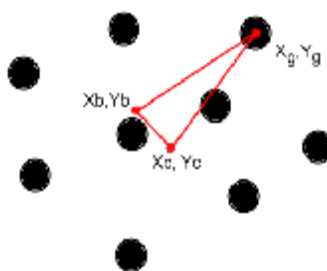


Рисунок 3 - Нахождение направлений радиусов-векторов с учетом дополнительного центра тяжести

При нахождении направлений радиусов-векторов была использована теорема косинусов [6]

$$N_g = \arccos\left(\frac{(Xc - X_g)^2 + (Yc - Y_g)^2 + (Xc - Xb)^2 + (Yc - Yb)^2}{2 \cdot \sqrt{(Xc - X_g)^2 + (Yc - Y_g)^2} \cdot \sqrt{(Xc - Xb)^2 + (Yc - Yb)^2}} + \frac{(Xc - X_g)^2 + (Yc - Y_g)^2}{2 \cdot \sqrt{(Xc - X_g)^2 + (Yc - Y_g)^2} \cdot \sqrt{(Xc - Xb)^2 + (Yc - Yb)^2}}\right). \quad (12)$$

В результате получены матрицы значений радиусов-векторов и их направлений:

$$Vc = [Vc_g] = \begin{bmatrix} Vc_1 \\ Vc_2 \\ \dots \\ Vc_n \end{bmatrix}, \quad N = [N_g] = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \dots \\ N_n \end{bmatrix}. \quad (13)$$

8. Для обеспечения инвариантности метода к повороту и линейным преобразованиям ГТО выполняется ранжирование значений направлений радиусов-векторов N_g по возрастанию:

- нахождение минимального значения N_g ;
- построение массива Nc по следующему принципу:

$$Nc = [Nc_g] = \begin{bmatrix} Nc_{\min} \\ \dots \\ Nc_{\max} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Nc_1 < \text{любого } Nc_g \\ Nc_1 < Nc_2 < \text{любого } Nc_g \\ \dots \\ Nc_n > \text{любого } Nc_g \end{bmatrix} \quad (14)$$

с последующим ранжированием значений радиусов-векторов в соответствии с направлениями.

$$Vcr = [Vcr_g] = \begin{bmatrix} Vcr_1(\text{для которого } Nc_1 < \text{любого } Nc_g) \\ Vcr_2(\text{для которого } Nc_1 < Nc_2 < \text{любого } Nc_g) \\ \dots \\ Vcr_m(\text{для которого } Nc_n > \text{любого } Nc_g) \end{bmatrix}. \quad (15)$$

9. Для обеспечения инвариантности метода распознавания к масштабированию и нелинейным искажениям ГТО выполнена нормализация значений радиусов-векторов

$$V \text{ nor} = [Vc_g] = \begin{bmatrix} \frac{Vc_1}{Vb} \\ \frac{Vc_2}{Vb} \\ \dots \\ \frac{Vc_n}{Vb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Vc \text{ nor}_1 \\ Vc \text{ nor}_2 \\ \dots \\ Vc \text{ nor}_n \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где $Vb = \sqrt{(X - Xb)^2 + (Y - Yb)^2}$ – значение нулевого радиуса-вектора.

10. Заключительным этапом является сравнение матрицы нормализованных значений векторов полученного ГТО с эталоном. Для этого сначала выделяются те эталоны, у которых количество элементов в матрицах значений (и направлений) радиусов-векторов равно количеству элементов в распознаваемом ГТО. Далее для сравнения с эталоном вычисляется коэффициент корреляции $K(Vc \text{ nor}, V \text{ etal})$, где $V \text{ etal}$ – матрица значений радиусов-векторов от центра тяжести ГТО до центра тяжести каждого элемента ГТО в изображениях эталонах. Для ускорения процесса поиска эталона применяется принцип дихотомии:

$$Vc \text{ nor} = [Vc \text{ nor}_g] = \begin{bmatrix} Vc \text{ nor}_1 \\ Vc \text{ nor}_2 \\ \dots \\ Vc \text{ nor}_n \end{bmatrix}, \quad V \text{ etal} = [V \text{ etal}_g] = \begin{bmatrix} V \text{ etal}_1 \\ V \text{ etal}_2 \\ \dots \\ V \text{ etal}_n \end{bmatrix},$$

$$K(Vc \text{ nor}, V \text{ etal}) = \frac{n \cdot \sum_{g=1}^n Vc \text{ nor}_g \cdot V \text{ etal} - \sum_{g=1}^n Vc \text{ nor}_g \cdot \sum_{g=1}^n V \text{ etal}}{\sqrt{(n \cdot \sum_{g=1}^n Vc \text{ nor}_g^2 - (\sum_{g=1}^n Vc \text{ nor}_g)^2) \cdot (n \cdot \sum_{g=1}^n V \text{ etal}_g^2 - (\sum_{g=1}^n V \text{ etal}_g)^2)}}. \quad (17)$$

Если $K(Vc\ nor, V\ etal) \geq K\ porog$ (где $K\ porog$ – пороговое значение коэффициента корреляции), то полученный ГТО совпадает с эталонным.

ВЫВОДЫ

Разработанный модифицированный векторно-нормализованный метод распознавания базируется на определении радиусов-векторов от центра тяжести ГТО до центра тяжести каждого его элемента с последующей их нормализацией и ранжированием, и обеспечивает достоверность распознавания групповых точечных объектов произвольной формы с учетом: количества элементов и шага между ними, формы ГТО, его сложных произвольных искажений и характеристик изображения ГТО.

SUMMARY

VECTOR-STANDARDIZED RECOGNITION METHOD FOR GROUP POINT OBJECTS OF ARBITRARY SHAPES

M.V. Dubrovkina

Scientific Research and Project Designing Institute "Iskra", Lugansk

The paper describes a developed modified vector-standardized recognition method for group point objects (GPO) of arbitrary shapes which provides recognition reliability taking into consideration the GPO geometric characteristics, the complex arbitrary distortions and the image characteristics.

Key words: *group point object, recognition of objects, complex arbitrary distortions, vector-standardized method, reliability of recognition.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабораторный стенд для отработки алгоритмов движения микроспутника по снимкам звездного неба (Laboratory Facility for Verification Attitude Determination Algorithms Using Starry Sky Pictures Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science) [Электронный ресурс] / М.Ю. Овчинников, А.С. Середницкий, А.М. Овчинников / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – Режим доступа: http://www.keldysh.ru/papers/2006/rep43/rep2006_43.html.
2. Дубровкина М.В. Повышение достоверности распознавания кода при идентификации кожи в процессе её обработки: дис... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Маргарита Васильевна Дубровкина. - Луганск, 2009. – 229 с.
3. Дубровкина М.В. Признаковый метод распознавания, адаптированный под аффинные преобразования и нелинейные искажения перфорированного кода [Электронный ресурс] / М. В. Дубровкина // Вестник Восточноевропейского национального университета. – 2008. – № 2Е. – Режим доступа: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Vsunud/2008-2E/08dmvipc.htm>.
4. Жизняков А. Л. Многомасштабная фильтрация групповых объектов изображений / А. Л. Жизняков, А.А. Фомин // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов. – Курск, 2008. – Ч.1. – С.162-164.
5. Реферат. Вычисление координат центра тяжести плоской фигуры [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.refz.ru/index.php?action=refall&p=MjAxMTE=>.
6. Гусев В.А. Математика: справочные материалы / В.А. Гусев, А. Г. Мордкович. – М.: Просвещение, 1991. – 416 с.

Поступила в редакцию 29 сентября 2009 г.