

УДК 004.932.4-045.72

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

МИТЮХИН А. И.

*Институт информационных технологий
Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

E-mail: mityuhin@bsuir.by

Аннотация. Рассматривается метод формирования признаков, используемых для распознавания и идентификации движущегося объекта в задачах аэрокосмического дистанционного зондирования. Метод позволяет определять параметры движения сегментированного малозаметного объекта, решать задачу понимания сцен на фоне пространственных помех. Основой метода является применение оптимального ортогонального координатного преобразования Хартли к последовательностям изображений. Алгоритм может использоваться в процессе классификации изображений, для автоматизации идентификации объектов на снимках, полученных путем зондирования земной поверхности.

Abstract. The method of formation of features used for recognition and identification of a moving object in the tasks of aerospace remote sensing is considered. The method allows you to determine the motion parameters of a segmented unobtrusive object, to solve the problem of understanding scenes against the background of spatial interference. The basis of the method is the application of the optimal orthogonal coordinate Hartley transformation to image sequences. The algorithm can be used in the process of image classification, to automate the identification of objects in images obtained by probing the earth's surface.

Введение

Аэрокосмическое дистанционное зондирование (ДЗ) земной поверхности широко используется в современной технологии «Industrie 4.0» [1] для целей экологического контроля окружающего пространства, метеорологических наблюдений, промышленного технического контроля, в военной области и пр. [2]. С развитием современных радиоэлектронных систем с высокой вычислительной производительностью появилась возможность рассматривать движение как дополнительный признак, который можно использовать в обработке изображений для решений задач распознавания объектов, понимания сцен. В качестве исходных признаков движущегося объекта могут выступать временные и пространственные изменения уровней яркостей каждого кадра снимка [3]. В этом случае анализ движения можно рассматривать в трехмерном пространстве, образованном двумя пространственными координатами x и y и одной временной t . Современный анализ изображений основывается на статистическом подходе [4], когда пространственные данные представляются в виде случайных величин яркостей и как стохастический процесс в случае представления временным рядом. Так как обработка 2D случайных процессов вычислительно затратна, более эффективное выделение значимых классификационных признаков следует производить с использованием описания на основе Фурье-подобных преобразований [5]. В работе рассматривается метод определения движения в последовательностях изображений с использованием координатного преобразования Хартли.

Теоретические принципы

Предполагается, что объект движется с постоянной скоростью r . Данные ДЗ $g(x, y, t)$ представляются в виде растровых структур ГИС [6]. Выявление движения можно связать с ориентацией в пространственно-временных изображениях. Двумерное пространственно-временное цифровое изображение с одной пространственной координатой по оси x и одной временной координатой можно записать в виде

$$g(n, t) = g(n - rt), \quad (1)$$

где n обозначает дискретное значение текущей пространственной координаты объекта интереса в дискретный момент времени t .

Изменения содержания (1) происходят в моменты времени t_0, \dots, t_{K-1} , где K – число кадров наблюдения. Объект $g(x, y, t)$ в виде пространственных (признаковых) точек с соответствующими координатами в моменты t_0, \dots, t_{K-1} образует траекторию движения объекта.

Последовательность из K сегментированных изображений можно представить в виде проекций изображений каждого кадра на координатные оси [3]. Для i -го одного кадра проекция на ось x записывается в виде последовательности g_n^i с K отсчетами. В последовательности имеется только один ненулевой отсчет. Аналогично записывается проекция g_m^i на ось y , где m – дискретное значение координаты по оси y . Рассматривая бинарный вариант изображения, яркость пиксела $g_{nm}^i = 1$.

Переход из пространственно-временной области в частотную предлагается осуществлять посредством использования координатного дискретного преобразования Хартли (ДПХ) [7]. В отличие от ДПФ, ДПХ относится к действительным преобразованиям и поэтому вычислительно более эффективное. Для этого сначала выразим дискретную функцию Хартли через параметры съемки. Длительность съемки $T = K/p$, где p – частота кадров. Подставляя параметры съемки в определение функций Хартли, имеем

$$\text{cas}(\varphi) \rightarrow \cos(\omega t) \rightarrow \cos(2\pi p t / K) + \sin(2\pi p t / K). \quad (2)$$

Пространственные проекции изображений размером $M \times N$ на оси x, y вычисляются по формулам

$$g_m(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} g(m, n, t) \text{cas}\left(\frac{2\pi m p t}{K}\right), t = 0, \dots, K-1, \quad (3)$$

$$g_n(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} g(n, m, t) \text{cas}\left(\frac{2\pi n p t}{K}\right), t = 0, \dots, K-1. \quad (4)$$

Если объект движется с постоянной скоростью r , то сдвиг за время между двумя кадрами по оси x на l_x пикселей приведет к значению частоты функции Хартли, равному $(2\pi p l_x / K)$ (2). Очевидно, чем больше величина l_x тем больше значение частоты, тем с больше скорость объекта. Величина параметра сдвига l_x и, соответственно, $(2\pi p l_x / K)$ непосредственно связаны с составляющей скорости движения объекта в пикселях на кадр по оси x . Приращение в l_x раз значения $(2\pi p / K)$ частоты приводит к изменению кодовой структуры последовательности $g_m(t)$ (3). Аналогичные рассуждения справедливы относительно проекции движения по оси y .

Далее производятся одномерные ДПХ последовательностей (3), (4). Используя форму любого координатного преобразования, получаем

$$\hat{g}_m(u) = \sum_{t=0}^{K-1} g_m(t) \text{cas}\left(\frac{2\pi u p t}{K}\right), u = 0, \dots, K-1, \quad (5)$$

$$\hat{g}_n(v) = \sum_{t=0}^{K-1} g_n(t) \text{cas}\left(\frac{2\pi v p t}{K}\right), v = 0, \dots, K-1, \quad (6)$$

где u и v – частотные индексы коэффициентов Хартли.

Для равномерного движения (в канале без шумов) в силу ортогональности базиса разложения, коэффициенты Хартли будут характеризоваться единственными максимальными ненулевыми компонентами на частотах u и v . Значения u и v определяются величинами сдвига $K l_x$ за время съемки. Максимальные значения коэффициентов Хартли с соответствующими индексами частот u и v пропорциональны скорости движения. Если известно расстояние d (масштаб) между соседними пикселями, время, затраченное на съемку всех кадров, частота

кадров p , значения индексов нормированных частот максимальных коэффициентов (5), (6), расчет составляющих скорости объекта по осям x и y выполняется по формулам

$$V_x = (dl_x pK / K) = dvp,$$

$$V_y = (dl_y pK / K) = dup.$$

Реальная физическая скорость объекта

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}.$$

Эксперимент

Экспериментальные исследования рассматриваемого подхода проведены с использованием программных инструментов пакета MATLAB [8]. Последовательность динамических сцен состояла из $K=64$ детерминированных изображений, искаженных аддитивным некоррелированным импульсным шумом. На изображениях такой шум выглядит в виде случайных бинарных точек, как и признаки движения. Дисперсия (плотность) шума равномерно распределена по всему изображению. Моделирование проводилось с шумами различной плотностью S , рис. 1, рис. 2. Изображения показаны после пороговой обработки [5].



Рис. 1. Изображение с плотностью шума $S = 0,25$ **Рис. 2.** Изображение с плотностью шума $S = 0,45$

Набор Хартли-коэффициентов $\tilde{g}_m(u)$, $\tilde{g}_n(v)$ (5), (6) искаженных изображений определяют признаки движения малозаметного объекта. В таблице представлены максимальные коэффициенты (признаки) $\tilde{g}_m(u)_{\max}$ и, ближайшие к ним значения, по оси u . Данные показывают, как изменение интенсивности шума связано со значением признака, по которому принимается достоверное решение о обнаружения движения объекта. Частотные индексы коэффициентов Хартли с обозначением "max" характеризуют наличие динамического объекта и его скорость. Аналогично получают признаки объекта по оси x .

Таблица. Зависимость значений коэффициентов преобразования от интенсивности шума

Плотность импульсного шума	$S = 0$	$S = 0,25$	$S = 0,45$	$S = 0,6$
Коэффициент Хартли	$\tilde{g}_1(u)_{\max} = 64,$ $\tilde{g}_2(u) \div \tilde{g}_{63} = 0$	$\tilde{g}_1(u)_{\max} = 53,01,$ $\tilde{g}_{61} = 7,54$	$\tilde{g}_1(u)_{\max} = 49,60,$ $\tilde{g}_{61} = 12,56$	$\tilde{g}_1(u)_{\max} = 21,68,$ $\tilde{g}_3(u) = 21,06$

Как видно, для надежной помехоустойчивой обработки скрытно движущегося объекта при возрастании уровня шума необходимо увеличивать число сцен или времени анализа. Математическая модель на базе ДПХ позволяет эффективно выделять и описывать значимые классификационные признаки.

Заключение

Использование координатного преобразования Хартли в задачах обнаружения, сегментации динамических объектов позволяет осуществлять эффективное выделение классификационных признаков распознавания и идентификации, может применяться для приложений, связанных с необходимостью постоянного наблюдения разных поверхностных полигонов на снимках дистанционного зондирования. Экспериментальные исследования рассмотренного подхода подтверждают реальность его использования в современных радиоэлектронных системах различного назначения.

Список использованных источников

1. Digitale Transformation in der Industrie / Bundesministerien für Wirtschaft und Energie, www.bmwi.de.
2. Митюхин А.И., Конопелько В.К. Описание контура бинарного изображения объекта интереса. Восьмой Белорусский космический конгресс, 25–27 октября 2022 года, Минск: материалы конгресса: в 2 т. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2022. Т. 1. – 344 с.
3. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. New Jersey: Prentice Hall, 2002. – 793 p.
4. Jahne B. Digital Image Processing. Concepts, Algorithms, and Scientific Applications. Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. – 383 p.
5. Burger W., Burge M.J. Digitale Bildverarbeitung. Eine Einführung mit Java und Image, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – 520 p.
6. Chandra A.M. Remote Sensing and Geographical Information System. New Delhi: Narosa Publishing House; 2006. – 520 p.
7. Митюхин А.И., Пикиреня И.И. Метод обработки изображения, полученного на основе результатов аэрокосмического мониторинга // Доклады БГУИР, 2021, (4). – С. 21–27.
8. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде МАТЛАБ. Москва: Техносфера, 2006. – 616 с.