

УДК 528.8 : 004.6

ПОИСК И ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

А.И. МИТЮХИН

*Институт информационных технологий Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь*

Поступила в редакцию 12 ноября 2018

Аннотация. Рассмотрен спектральный метод поиска и обнаружения изображения объекта с заданными геометрическими признаками. В сравнении с известными алгоритмами поиска описываемый алгоритм позволяет уменьшить время поиска, вычислительную сложность цифровой обработки изображений, упрощает дешифрацию снимков. Метод может найти применение при решении таких задач, как сегментация, совмещение изображений, распознавание, определение расстояния между объектами и явлениями, определение динамических характеристики объектов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, фильтрация, поиск, обнаружение, отношение правдоподобия, свертка.

Abstract. Spectral method for image search and discovery of the object with the specified geometric characteristics is analyzed. In comparison with the famous search algorithms described algorithm allows to reduce time of search, computational complexity of digital imaging, simplifies the decoding images. The method can be applied in solving problems such as segmentation, image combining, recognition, determining the distance between objects and phenomena, determining the dynamic characteristics of objects.

Keywords: remote sensing, filtering, search, detection, ratio of likelihood, convolution.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 117, No. 7, pp. 74-79

Search and detection of remote sensing objects

A.I. Mitsiukhin

Введение

Современное решение задач рационального использования природных ресурсов, экологического контроля окружающей среды, идентификации пространственных объектов с известными геометрическими признаками, инвентаризации пространственных объектов на некоторой территории, картографирования геологических структур и др. основывается на аэрокосмическом дистанционном зондировании земной поверхности. Процесс дистанционного зондирования включает в себя аэрокосмическую съемку и последующее дешифрирование полученного снимка с целью получения интересующей информации об определенном объекте или явлении. Одним из возможных этапов дешифрирования является поиск и обнаружение объектов по определенным физическим свойствам или по другим, в том числе косвенно получаемым параметрам (дескрипторам).

Точностные характеристики поиска объекта в выделенном пространстве зависят от многих факторов: прозрачности земной атмосферы, освещенности, ошибки, допущенной при съемке, низкого контрастного разрешения и пр. Частичное устранение влияния этих факторов решается на этапе предварительной обработки с целью создания условий, повышающих эффективность поиска и качество обнаружения искомым или изучаемых объектов. На этапе предварительной обработки применяются надлежащие процедуры линейной и нелинейной фильтрации для того, чтобы отличить объекты интереса от всех других

и от фона, повысить пространственное и контрастное разрешение. Однако и после предварительной обработки изображений эффективное решение задачи поиска и обнаружения наблюдаемого объекта затрудняется наличием преднамеренных помех или помех естественного происхождения в любом канале. Известно сравнительно много методов поиска с оценкой пространственного положения искомого объекта. Наилучшим из них является метод поиска, целевой функцией которого является отношение правдоподобия [1]. Отношение формируется путем сравнения обрабатываемого изображения (входа системы обработки) с априорно известным образом по таким характеристикам, как пространственное положение, яркость, спектральная структура и др. Нахождение максимума отношения правдоподобия сводится к переборному методу, когда вычисляется корреляционная функция или свертка относительно сдвигаемого известного образа. В качестве оценки положения объекта выбирается пространственный сдвиг, при котором достигается максимум корреляции или отклика свертки. Оптимальные алгоритмы требуют значительных вычислительных, временных и аппаратных ресурсов.

Теоретические принципы

В статье рассматривается спектральный метод поиска и обнаружения на изображении G размером $M \times N$ наблюдаемого объекта H размером $K \times L$. Решение поставленных задач в пространственной области основывается на двух методах: корреляционном и фильтровом. Корреляционный способ предполагает вычисление отношения правдоподобия по каждой пространственной координате (m, n) 2D пространства. Корреляционная функция определяется

$$\text{формулой } g(m, n) \circ h(m, n) = r(m, n) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} h(k, l) g(m+k, n+l), m=0, \dots, M-1, n=0, \dots, N-1.$$

Для вычисления всех $[(M-K+1)(N-L+1)]$ коэффициентов корреляции потребуется выполнить $C_x = [(M-K+1)(N-L+1)]KL$ операций умножений.

Время поиска объекта, определяемое временем анализа обрабатываемых массивов, может оказаться чрезмерным. Введение многоканальной корреляционной обработки снижает вычислительную сложность по мультипликативным операциям в $[(M-K+1)(N-L+1)]$ раз. Однако растет аппаратно-программная сложность процедуры поиска.

Фильтровый способ предполагает осуществление поиска с помощью фильтра с импульсной характеристикой, согласованной с пространственной структурой образа объекта. Отклик фильтра или значение свертки также соответствует отношению правдоподобия. Свертка изображения G и импульсной характеристики H определяется формулой

$$g(m, n) * h(m, n) = y(m, n) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} h(k, l) g(m-k, n-l), m=0, \dots, M-1, n=0, \dots, N-1.$$

Если выполнять вычисление отклика на основе спектрального метода (теоремы о свертке или теоремы о корреляции), например, с применением дискретного преобразования Фурье (ДПФ), появляется возможность более эффективно выполнить поиск пространственных координат наблюдаемого объекта и его обнаружение. Объем вычислительных затрат на процедуру поиска с использованием алгоритма ДПФ $g(m, n) * h(m, n) = \text{ДПФ}^{-1}(\text{ДПФ}_{g(m, n)} \cdot \text{ДПФ}_{h(m, n)})$.

зависит от значения размера входов, т. е. значений M, N, K, L . Недостатком ДПФ является необходимость работы в поле комплексных чисел. Вычислительная сложность еще более возрастает, когда ДПФ выполняется по каждой независимой переменной.

В статье рассматривается более эффективное решение задачи поиска и обнаружения объекта. В качестве базиса разложения рассматриваются дискретные ортогональные функции Хартли [2, 3]. Одномерное дискретное преобразование Хартли (ДПХ) связано с ДПФ

$${}^h \hat{g}(v) = \text{Re } \hat{g}(v) + \text{Im } \hat{g}(v), 0 \leq v \leq N-1, \quad \text{где } {}^h \hat{g}(v) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} g(n) \text{cas}\left(\frac{2\pi n v}{N}\right) - \text{коэффициент}$$

преобразования Хартли, $\hat{g}(v)$ – коэффициент преобразования Фурье. Как видно, результат

выражается действительными числами. В отличие от известного вещественного дискретного косинусного преобразования формы прямого и обратного преобразования ДПХ совпадают, что обеспечивает экономию аппаратных и программных средств. В последующих рассуждениях используется векторная запись вычисления свертки. Алгоритм вычисления свертки изображения \mathbf{G} и импульсной характеристики \mathbf{H} в спектральной области Хартли имеет вид

$${}^h\hat{\mathbf{G}}(v) * {}^h\hat{\mathbf{H}}(v) = \frac{1}{2} [{}^h\hat{\mathbf{G}}(v) {}^h\hat{\mathbf{H}}(v) + {}^h\hat{\mathbf{G}}(N-v) {}^h\hat{\mathbf{H}}(N-v) + {}^h\hat{\mathbf{G}}(v) {}^h\hat{\mathbf{H}}(N-v) - {}^h\hat{\mathbf{G}}(N-v) {}^h\hat{\mathbf{H}}(v)], \quad (1)$$

где номера $(N-v)$ коэффициентов преобразования берутся по модулю N .

Введем обозначения

$${}^h\hat{\mathbf{A}}(v) = {}^h\hat{\mathbf{G}}(v) {}^h\hat{\mathbf{H}}(v), \quad (2)$$

$${}^h\hat{\mathbf{A}}(N-v) = {}^h\hat{\mathbf{G}}(N-v) {}^h\hat{\mathbf{H}}(N-v),$$

$${}^h\hat{\mathbf{B}}(v) = {}^h\hat{\mathbf{G}}(v) {}^h\hat{\mathbf{H}}(N-v), \quad (3)$$

$${}^h\hat{\mathbf{B}}(N-v) = {}^h\hat{\mathbf{G}}(N-v) {}^h\hat{\mathbf{H}}(v).$$

С учетом (2), (3) и равенств ${}^h\hat{\mathbf{A}}(v) = {}^h\mathbf{A}(N-v)_{\text{mod } N}$, ${}^h\hat{\mathbf{B}}(v) = {}^h\mathbf{B}(N-v)_{\text{mod } N}$, выражение (1) примет вид

$${}^h\hat{\mathbf{G}}(v) * {}^h\hat{\mathbf{H}}(v) = \frac{1}{2} [{}^h\hat{\mathbf{A}}(v) - {}^h\hat{\mathbf{A}}(N-v) + {}^h\hat{\mathbf{B}}(v) + {}^h\hat{\mathbf{B}}(N-v)]. \quad (4)$$

Из (4) следует, что прямое вычисление одного коэффициента свертки в спектральной области Хартли требует выполнения ${}^hC_M = 4$ мультипликативных операций в поле действительных чисел (с учетом расчета ${}^h\hat{\mathbf{G}}(v)$ и ${}^h\hat{\mathbf{H}}(v)$). Для сравнения алгоритмов ДПХ и ДПФ запишем выражение вычисления свертки в спектральной области Фурье:

$$\hat{\mathbf{G}}(v) * \hat{\mathbf{H}}(v) = \hat{\mathbf{G}}(v) \hat{\mathbf{H}}(v) = [\text{Re} \hat{\mathbf{G}}(v) + \text{Im} \hat{\mathbf{G}}(v)] [\text{Re} \hat{\mathbf{H}}(v) + \text{Im} \hat{\mathbf{H}}(v)]. \quad (5)$$

Из (5) следует, что вычисление одного коэффициента свертки $\hat{\mathbf{G}}(v) * \hat{\mathbf{H}}(v)$ в спектральной области Фурье требует выполнения ${}^sC_M = 8$ мультипликативных операций в поле действительных чисел. Произведение (4) спектров Хартли вычисляется более эффективно, чем произведение спектров Фурье. Таким образом, переход в область пространственных частот на основе ДПХ ускоряет поиск, по крайней мере, в два раза. Еще больший выигрыш можно получить применением алгоритма быстрого преобразования Хартли.

Численные исследования

Одним из дескрипторов, который используется в процессе дешифрования аэрокосмических снимков, является текстура [3, 4]. К основным свойствам текстуры относятся периодические или квазипериодические изменения яркости, цвета; зернистость, гладкость, глобальность, локальность ориентации структурных элементов изображения. Анализ сложных (глобальных) структурных закономерностей текстур используется в землепользовании, картографировании, сельском хозяйстве, океанографии и др. Исследования проведены на основе использования двумерного ДПХ размером $M \times N$. Коэффициенты разложения ${}^h\hat{g}(u, v)$ двумерной дискретной функции $g(n, m)$ вычислялись на двумерном дискретном множестве функций $\text{cas}\left(\frac{2\pi un}{N} + \frac{2\pi vm}{M}\right)$. Двумерное ДПХ определяется как

$${}^h\hat{g}(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} g(n, m) \text{cas}\left(\frac{2\pi un}{N} + \frac{2\pi vm}{M}\right), 0 \leq v \leq N-1, 0 \leq u \leq M-1, \quad (6)$$

где m, n – пространственные переменные, u, v – частотные переменные.

Пример 1. Поиск текстурного объекта. На рис. 1 показан фрагмент бинарного изображения G , $g(m,n) \in \{1,-1\}$ размером 8×24 . Импульсная характеристика ${}^h H$ фильтра согласована с фрагментом текстуры (искомым объектом), показанным на рис. 2. Отклик фильтра в виде обратного двумерного преобразования свертки в спектральной области Хартли вычисляется по формуле

$$G(m,n) * H(m,n) = y(m,n) = \text{Ä} \ddot{\text{O}} [{}^h \hat{G}(u,v) * {}^h \hat{H}(u,v)]. \quad (7)$$

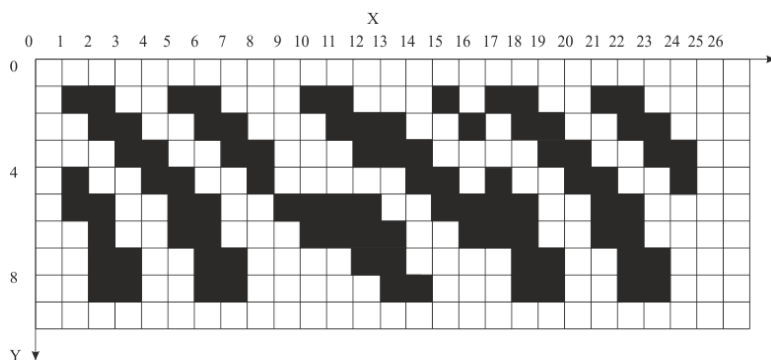


Рис. 1. Фрагмент изображения

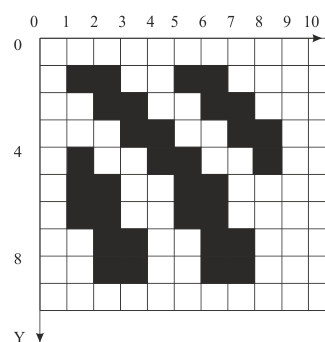


Рис. 2. Наблюдаемый объект

Получены две нормированные оценки пространственного положения искомым объектов. Первое значение $y_1(m,n) = 0,9692 < 1$ свидетельствует о незначительном искажении объекта с координатами $(m,n) = (1,1)$. Вторая оценка $y_2(m,n) = 1$ соответствует пространственному положению объекта с координатами $(m,n) = (17,1)$. Практическое равенство $y_1(m,n) \cong y_2(m,n)$ указывает на большую схожесть изображений найденных объектов. Действительно, они почти идентичны, различаются в одном элементе.

Пример 2. Обнаружение текстур. Одним из свойств текстуры является повторяемость через пространственный промежуток основного ее структурного элемента (формы). Обнаружение текстуры можно связать с обнаружением периодичности или гармонической компоненты (частоты текстуры) на изображении G . Качественные характеристики обнаружения зависят от отношения мощности основной гармонической компоненты к мощности гармоник. Характеристикой периодичности любого процесса является его автокорреляционная функция (АКФ). Если размеры изображения G и эталона H сравнимы, рациональнее вычислять АКФ в спектральной области Хартли. Операция свертки отличается от корреляции необходимостью зеркального отражения одного из сворачиваемых массивов. Из выражения (1) можно получить следующие соотношения для вычисления АКФ:

$${}^h \hat{H}(v) \circ {}^h \hat{H}(v) = \frac{1}{2} [{}^h \hat{H}(v) {}^h \hat{H}(v) + {}^h \hat{H}(N-v) {}^h \hat{H}(N-v) + {}^h \hat{H}(v) {}^h \hat{H}(N-v) - {}^h \hat{H}(v) {}^h \hat{H}(N-v)],$$

$${}^h \hat{H}(v) \circ {}^h \hat{H}(v) = \frac{1}{2} [{}^h \hat{H}(v)^2 + {}^h \hat{H}(N-v)^2],$$

$$H(m,n) \circ H(m,n) = r(m,n) = \text{Ä} \ddot{\text{O}} \left(\frac{1}{2} [{}^h \hat{H}(v)^2 + {}^h \hat{H}(N-v)^2] \right). \quad (8)$$

На рис. 3 показано изображение текстуры H в поле чисел $\{1,-1\}$.

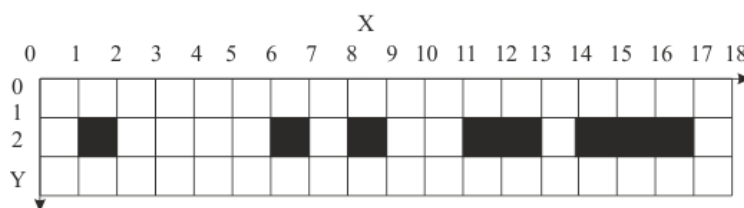


Рис. 3. Изображение текстуры

Вычисленное прямое ДПХ ${}^h\hat{h}(u,v)$ изображения $h(m,n)$ записано в виде следующего множества спектральных коэффициентов:

$${}^h\hat{h}(u,v) \cong (0; -3.4; -3.6; 1.7; -4; 3.8; -0.8; 3.8; -4; 1.7; 7.6; -3.4; 0; 5.8; 4.8; 5.8).$$

Периодическая составляющая в виде текстуры на изображении G обнаруживается на основе вычисления (8). На рис. 4 представлен график периодической корреляционной функции изображения текстуры (рис. 3).

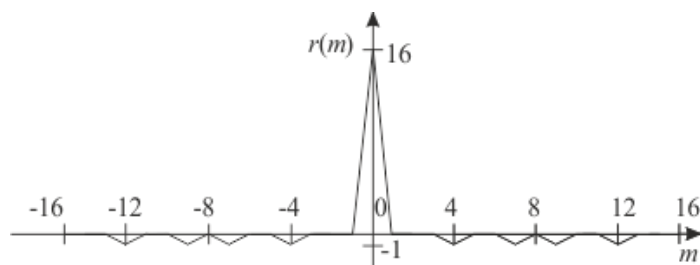


Рис. 4. Периодическая автокорреляционная функция изображения текстуры

На графике имеется явно выраженный максимум функции. Далее следует произвести вычисление АКФ посредством усреднения на всем пространстве G . Обнаружение компонент АКФ на всем пространстве G свидетельствует о наличии периодической текстуры.

Выводы

1. Применение ДПХ для решения задач поиска данных дистанционного зондирования на основе операции свертки в спектральной области Хартли позволяет ускорить процесс поиска. Временной выигрыш еще более увеличивается при применении быстрого преобразовании Хартли в сравнении с комплексным БПФ.

2. Обнаружение периодического текстурного фрагмента с известными пространственными характеристиками, когда корреляционная функция вычисляется на основе применения двукратного ДПХ, упрощает анализ изображения, дешифрацию его основных характеристик и информационных признаков, уменьшает вычислительную сложность цифровой обработки изображений.

Список литературы

1. Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007. 486 с.
2. Брейсуэл Р. Преобразование Хартли. М.: Мир, 1990. 175 с.
3. Mitsiukhin A., Karcheuski A. Filtration of Videographic Data by Means of Hartley Discrete Transform // IWK «Prospects in Mechanical Engineering». TU, DE, 2008. P. 365–366.
4. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 312 с.

References

1. Ipatov V. Shirokopolosnye sistemy i kodovoe razdelenie signalov. Principy i prilozhenija. M.: Tehnosfera, 2007. 486 s. (in Russ.)
2. Brejsujel R. Preobrazovanie Hartli. M.: Mir, 1990. 175 s. (in Russ.)
3. Mitsiukhin A., Karcheuski A. Filtration of Videographic Data by Means of Hartley Discrete Transform // IWK «Prospects in Mechanical Engineering». TU, DE, 2008. P. 365–366.
4. Chandra A.M., Gosh S.K. Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacionnye sistemy. M.: Tehnosfera, 2008. 312 s. (in Russ.)

Сведения об авторе

Митюхин А.И, к.т.н., доцент Института информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

220037, Республики Беларусь,
г. Минск, ул. Козлова, 28
Институт информационных технологий
Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники
tel. +375-29-111-20-57;
e-mail: mityuhin@bsuir.by
Митюхин Анатолий Иванович

Information about the author

Mitsiukhin A.I., PhD, associate professor of Institute of information technology of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Address for correspondence

220037, Republic of Belarus,
Minsk, Kozlova st., 28
Institute of information technology
of Belarusian state university
of informatics and radioelectronics
tel. +375-29-111-20-57;
e-mail: mityuhin@bsuir.by
Mitsiukhin Anatol Ivanovich