

УДК 621.391.25

**ОБНАРУЖЕНИЕ СКРЫТНО ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ**

А.И. МИТЮХИН

*Институт информационных технологий  
Козлова, 28, Минск, 220037, Беларусь**Поступила в редакцию 12 июня 2012*

Рассматривается задача обнаружения по изображениям скрытно движущегося объекта. При этом требуется произвести оценку скорости движения объекта, направления его движения, пройденного расстояния. Исследуется возможность обнаружения динамических изображений в частотной области с помощью дискретного преобразования Хартли (ДПХ).

*Ключевые слова:* пиксел, обнаружение объекта, базис Хартли, спектр последовательности, скорость объекта, шум.

**Введение**

В ряде приложений требуются знания текущих координат объекта, скорости его движения, направления движения, пройденного объектом расстояния. Например, при обнаружении скрытно движущейся военной техники, дистанционном зондировании земной поверхности с целью метеорологических наблюдений и др. Искажение изображения помехами приводит к ошибкам измерения координат, параметров движения. Предлагается обнаружение объектов динамических изображений осуществлять в частотной области с помощью дискретного преобразования Хартли (ДПХ). В отличие от алгоритма избыточного комплексного дискретного преобразования Фурье (ДПФ), преобразование Хартли относится к действительным преобразованиям и поэтому вычислительно более простое.

**Алгоритм обнаружения движущегося объекта**

Изменяющиеся во времени изображение можно представить в виде дискретной трехмерной функции  $g_{x,y,t}$ . Пусть имеется последовательность из  $K$  изображений  $g_{x,y,t}$  с пространственными дискретными переменными  $(x, y)$  по оси  $x$  и по оси  $y$  двумерного евклидова пространства. Будем предполагать, что обнаруживаются изменения изображений  $g_{x,y,t}$  в последовательности кадров в моменты времени  $t = 0, 1, \dots, i, \dots, K - 1$ . Изменения сцен изображений  $g_{x,y,t_i}$  и  $g_{x,y,t_j}$  свидетельствуют о наличии движущихся объектов. Каждое пространственное изображение отображается матрицей данных размером  $M \times N$ . Алгоритм обнаружения объекта основывается на дискретном преобразовании Хартли [1]. Базис Хартли выражается векторами с действительными компонентами:

$$\mathbf{h}_v = \left[ \text{cas} \left( \frac{2\pi}{N} 0v \right), \text{cas} \left( \frac{2\pi}{N} 1v \right), \text{cas} \left( \frac{2\pi}{N} 2v \right), \dots, \text{cas} \left( \frac{2\pi}{N} (N-1)v \right) \right]^T,$$

$$\text{где } \text{cas} \left( \frac{2\pi}{N} v \right) \equiv \cos \left( \frac{2\pi}{N} v \right) + \sin \left( \frac{2\pi}{N} v \right), \forall v \in \mathbb{Z}^+, 0 \leq v \leq N - 1;$$

$$\mathbf{h}_u = \left[ \text{cas}\left(\frac{2\pi}{N}0u\right), \text{cas}\left(\frac{2\pi}{N}1u\right), \text{cas}\left(\frac{2\pi}{N}2u\right), \dots, \text{cas}\left(\frac{2\pi}{N}(N-1)u\right) \right],$$

$$\text{где } \text{cas}\left(\frac{2\pi}{M}u\right) \equiv \cos\left(\frac{2\pi}{M}u\right) + \sin\left(\frac{2\pi}{M}v\right), \forall u \in \mathbb{Z}^+, 0 \leq v \leq M-1.$$

Последовательность из  $K$  изображений можно представить в виде суммы проекций изображений каждого кадра на горизонтальную и вертикальную оси ( $x$  и  $y$ ). Обработке подвергаются дискретные отсчеты проекций изображения, представляющие собой положительные действительные числа. В поле действительных значений отсчетов  $g_n, (\forall n \in \mathbb{Z}^+, 0 \leq n \leq N-1)$ , вектор  $\mathbf{g} = [g_0, g_1, \dots, g_{N-1}]^T$  отображается посредством ДПХ в вещественный вектор

$$\hat{\mathbf{g}} = [\hat{g}_0, \hat{g}_1, \dots, \hat{g}_{N-1}]^T,$$

где элементы вектора  $\hat{g}_v$  определяются равенством

$$\hat{g}_v = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} g_n \text{cas}\left(\frac{2\pi vn}{N}\right). \quad (1)$$

Пусть интересующий объект отображается одним пикселом. Проекция изображений каждого кадра на ось  $x$  выразим линейной комбинацией дискретных последовательностей множества  $\{h_x\} = \left\{ \text{cas}\left(\frac{2\pi x}{N}\right) \right\}$ . Так как анализ изображений проводится по всем  $K$  последовательным кадрам, в результате получается одномерная  $K$ -точечная последовательность  $g_x(t)$ , определяемая следующим соотношением:

$$g_x(t) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} g_{x,y,t} \text{cas}\left(\frac{2\pi x}{N}\right), t = 0, 1, \dots, K-1. \quad (2)$$

Если объект за время между первым и вторым кадром сдвигается на один пиксел по оси  $x$ , сумма (2) равна вещественному значению отсчета  $h_i$  последовательности  $h_x$ . Сдвигу изображения за временной интервал между двумя кадрами на  $i$  пикселей по оси  $x$  соответствует значение отсчета  $h_i$  последовательности  $h_x$ . Так как функции  $\text{cas}\left(\frac{2\pi v}{N}\right)$  удовлетворяют свойству периодичности

$$\text{cas}\left(\frac{2\pi(v+Nl)}{N}\right) = \text{cas}\left(\frac{2\pi v}{N}\right), \forall l \in \mathbb{Z},$$

при постоянном сдвиге равном  $i$  в момент времени  $t = K-1$  сформируется последовательность с номером  $i$  множества  $\{h_x\}$ . По мере увеличения  $i$  возрастает соответствующая частота  $v$  функции Хартли. Величина сдвига  $i$  будет пропорциональна составляющей скорости движения объекта в пикселях на кадр по оси  $x$ . Таким образом, для вычисления составляющей скорости по оси  $x$  следует найти значение  $v$ . Для решения этой задачи необходимо произвести вычисление коэффициентов ДПХ последовательности  $g_x(t)$ ,

$$\hat{g}_{v_x} = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{K-1} g_x(t) \text{cas}\left(\frac{2\pi vt}{K}\right). \quad (3)$$

Величина коэффициента ДПХ зависит от положения на изображении движущегося объекта и сдвига  $v$ . Определение сдвига сводится к сравнению последовательности  $g_x(t)$  с каждой последовательностью множества  $\left\{ \text{cas}\left(\frac{2\pi vt}{K}\right) \right\}$  и выбору ближайшей из них по рассто-

янию Хэмминга. Максимальное значение коэффициента  $\hat{g}_{v_x}$  определяет величину  $v$ . Это значение ДПХ формируется в точке с тем номером  $v$  функции  $\hat{g}_{v_x}$ , координата которой пропорциональна скорости движения объекта.

Аналогичные рассуждения справедливы для получения коэффициентов ДПХ в направлении оси  $y$ . Выражение проекции плоскости изображения кадра на ось  $y$  имеет вид

$$g_y(t) = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} g_{x,y,t} \text{cas}\left(\frac{2\pi y}{M}\right), t = 0, 1, \dots, K-1. \quad (4)$$

1-ДПХ последовательность  $g_y(t)$  определяется как

$$\hat{g}_{u_y} = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{K-1} g_y(t) \text{cas}\left(\frac{2\pi u_y t}{K}\right). \quad (5)$$

Пусть наблюдаемый объект движется с равномерной скоростью. Сдвиг объекта по оси  $x$  за время между двумя кадрами равен  $p_x$  пикселей. За временной промежуток всего набора кадров сдвиг объекта составит  $P_x = p_x K$  пикселей. Если известно расстояние  $d$  между пикселями, путь, пройденный объектом, равен  $D = dP_x$ . Время  $t_\Sigma$ , затраченное на съемку всех  $K$  кадров, можно найти, задавая частоту кадров  $f$ . Тогда получаем  $t_\Sigma = \frac{K}{f}$ . Зная расстояние  $D$  и время  $t_\Sigma$ , составляющая скорости движения объекта по оси  $x$  определяется соотношением

$$V_x = \frac{D}{t_\Sigma} = \frac{dP_x f}{K} = dp_x f. \quad (6)$$

Заменяя в (6)  $p_x$  на значение номера  $v$  коэффициента  $\max \hat{g}_{v_x}$ , составляющая скорости

$$V_x = dvf. \quad (7)$$

Аналогично рассчитывается составляющая скорости по оси  $y$ :

$$V_y = duf. \quad (8)$$

Реальная физическая скорость объекта

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}. \quad (9)$$

Таким образом, если известны: расстояние между пикселями  $d$ , частота съемки  $f$  и значения нормированных частот  $v$  и  $u$  становится возможным эффективное вычисление скорости движения, трудноразличимого глазом, объекта на изображении.

### Оценка параметров движения объекта на основе ДПХ

Рассмотрим следующий пример. Пусть число кадров бинарного изображения  $K=16$ . Объект наблюдения и фон изображения представляются единичными пикселями одинаковой яркости. Маскирование объекта достигается наложением на изображение шумовой маски. На рисунке показаны совмещенные изображения объекта интереса и шума в 2D пространстве. Иллюстрации отражают последовательное образование сцен временными и пространственными координатами. После 15 кадров съемки объект сдвинулся на 30 пикселей по оси  $x$  и на 15 пикселей по направлению оси  $y$ . Его положение определяется координатами  $(t_{15}, x_{30}, y_{15})$  (рис. 1).

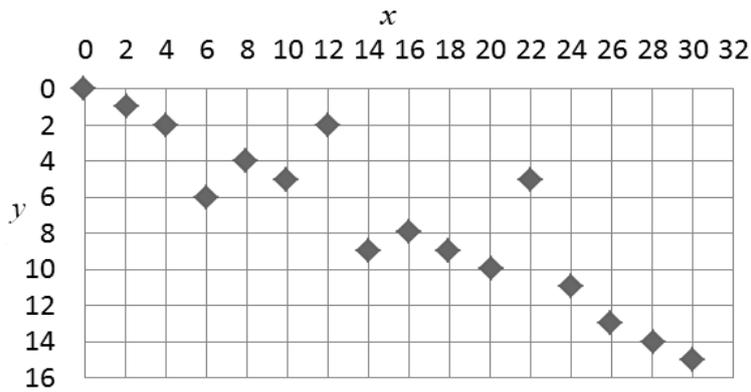


Рис. 1. Зашумленное пространственно-временное изображение сцен кадров

На рис. 2 и 3 представлены графики 1D спектров  $\hat{g}_{v_x}$  и  $\hat{g}_{u_y}$  преобразования Хартли последовательностей проекций  $g_x(t)$  и  $g_y(t)$ , которые соответствуют изображению, показанному на рис. 1.

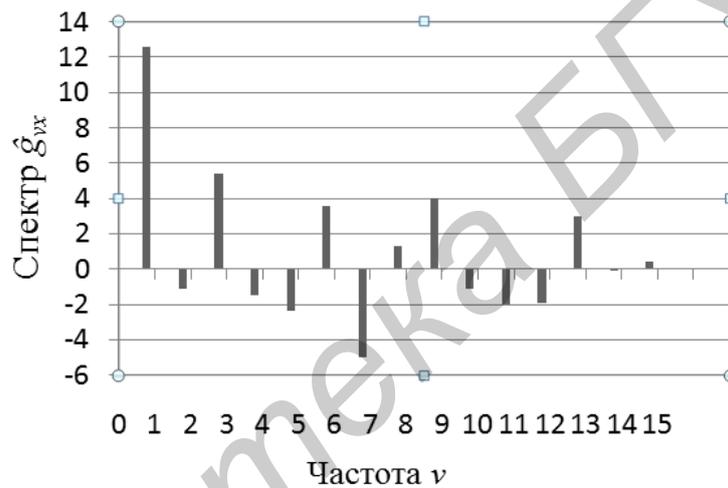


Рис. 2. Спектр последовательности  $g_x(t)$

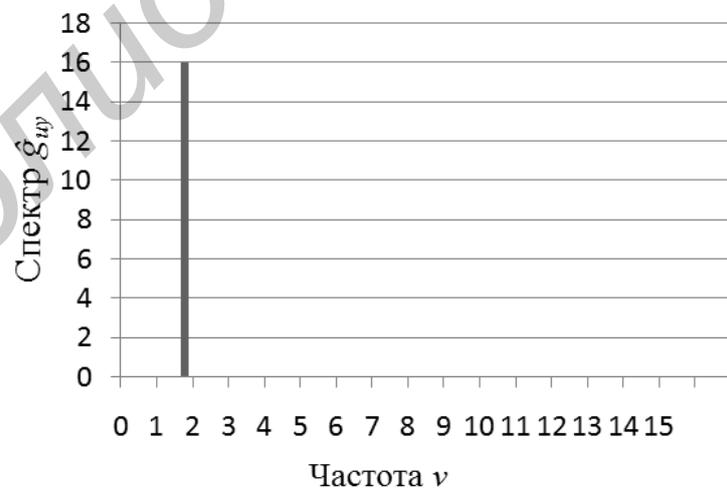


Рис. 3. Спектр последовательности  $g_y(t)$

Как видно из графиков, движущийся объект характеризуется спектром, представленным в виде максимальных пиков. Искомые частотные параметры, необходимые для вычисления скорости движения объекта, равны соответственно  $\nu = 1$  и  $u = 2$ . Спектральные составляющие других значений нормированных частот определяют уровень шума (маскирования). Ис-

пользуя формулы (7), (8) и (9), можно вычислить скорость движения объекта наблюдения. Пусть расстояние между пикселями  $d = 2$  м, частота съемки  $f = 32 \frac{\text{кадр}}{\text{с}}$ . Составляющие скоростей по оси  $x$  и оси  $y$  равны:

$$V_x = dvf = 2 \cdot 1 \cdot 32 = 64 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad V_y = duf = 2 \cdot 2 \cdot 32 = 128 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Физическая скорость объекта составляет величину  $V_x = 143,108 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Для обнаружения трудноразличимых движущихся объектов необходимо рассматривать изменения положения каждого пиксела на протяжении нескольких кадров. Увеличение времени наблюдения (числа кадров) уменьшает вероятность ошибочной оценки скорости. Неправильные значения координат наблюдаемого объекта, встречающиеся в последовательности кадров, в этом случае исправляются.

### Заключение

Использование ДПХ в задачах, связанных с обработкой изображений, показывает его эффективность. В сравнении с комплексным алгоритмом ДПФ, применение ДПХ для анализа движения объектов дает сокращение количества выполняемых вычислительных операций. В ряде применений быстрый алгоритм ДПХ превосходит БПФ и может его заменять.

## DETECTION OF CONCEALED MOVING OBJECTS

A.I. MITSUKHIN

### Abstract

The problem of detecting of hidden image of a moving object is considered. An estimation of the speed of given object, the direction of its movement and distance passed is required. The possibility of detection of dynamic images in frequency domain by using the discrete Hartley transform (DHT) is investigated.

### Литература

1. *Mitsukhin A.* // Innovation in Mechanical Engineering – Shaping the Future: Proceedings 56. International Scientific Colloquium, 12-16 September. 2011. P. 1-4.
2. *Gonzalez R.C., Woods R.E.* Digital Image Processing. NJ, 2002.