

щення ефективності виявлення та селекції сигналів від об'єктів з обмеженою маневреністю за рахунок аналізу ймовірності P та щільності ймовірностей $W_{1a}(a)$.

Висновки

Отримані результати дають можливість заздалегідь врахувати особливості руху об'єктів з обмеженою маневреністю, забезпечити селекцію по швидкості, пошук об'єкту після втрати сигналу. Вони доповнюють існуючі дані про щільність ймовірностей радіальної швидкості рухомих об'єктів та дають можливість перевести методи селекції на якісно новий рівень.

Література

1. Тенин М.Б., Князюк В.С. Плотность распределения скоростей воздушных и наземных целей/Теория и техника радиолокации. М. Машиностроение, 1968.
2. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. -М.: Энергия, 1968.

Ключові слова: радіолокація, селекція об'єктів за швидкістю, радіальна швидкість об'єкту, об'єкт з обмеженою маневреністю	
Бычковский В.А., Ханчопуло Е.В. Распределение радиальных скоростей объектов с ограниченной маневренностью Рассмотрены особенности плотности вероятностей распределения радиальных скоростей объектов с ограниченной маневренностью. Получены соотношения для определения вероятности радиальных скоростей объектов.	Bychkovsky V.A., Khanchopoulo E.V. Radial velocity distribution of restriction manoeuvre objects The density probability particularity of radial velocities distribution of restriction manoeuvre objects are consider. Correlations for probability of objects radial velocities determination are receipt.

УДК 621.396.218

**БЕСПОИСКОВЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ПОВОРОТА
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Мачнев А.М., Жук С.Я.

Синтезирован беспойсковый алгоритм определения угла поворота изображений, обеспечивающий повышение точности оценивания за счет перехода к определению частных углов поворота изображений, имеющих меньшие абсолютные значения. Анализ алгоритма проведен по тестовым и реальным магнитооптическим изображениям.

Вступление. Постановка задачи

Важное значение при синтезе магнитооптических изображений имеет задача определения угла поворота α одного изображения относительно другого. Для определения оценки угла α беспойсковым методом используются линеаризованные модели описания поворота изображения [1]. Достоинством беспойсковых алгоритмов являются незначительные вычислительные затраты. Однако точность таких алгоритмов зависит от вида функции, описывающей яркость (амплитуду) изображения [2]. В тех случаях, когда функция является широкополосной, приемлемая точность обеспечивается лишь при малых значениях угла α . Поэтому актуальной задачей является синтез алгоритмов беспойскового типа, позволяющих

расширить диапазон углов поворота, обеспечив при этом требуемую точность оценки. Для ее решения предлагается выполнять встречные повороты изображений, оценивать частные углы поворота первого и второго изображений, которые в сумме будут равны углу поворота α .

Теоретическое обоснование алгоритма

Связь между координатами некоторой точки первого кадра в полярной и декартовой системах координат описывается известными соотношениями $x = R \cos(\varphi)$, $y = R \sin(\varphi)$. После поворота на угол α , точка, с декартовыми координатами (x, y) в первом изображении, займет положение (x', y') . При малых углах поворота α , координаты точки (x', y') , определяются по формулам:

$$\begin{aligned} x' &= R \cos(\varphi + \alpha) \approx R \cos(\varphi) + R \sin(\varphi) \alpha = x - \alpha y, \\ y' &= R \sin(\varphi + \alpha) \approx R \sin(\varphi) + R \cos(\varphi) \alpha = y + \alpha x. \end{aligned}$$

Выражения $-\alpha y, \alpha x$ описывают соответственно приращения координат, которые получает точка (x, y) первого изображения при повороте.

Значение функции яркости изображения $f(x, y)$ в точке (x', y') при малых смещениях $-\alpha y, \alpha x$ можно записать с помощью ограниченного линейными членами ряда Тейлора:

$$f(x - \alpha y, y + \alpha x) = f(x, y) + \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} (-\alpha y) + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \alpha x. \quad (1)$$

Угол поворота α одного изображения относительно другого можно представить как сумму углов α_1 и α_2 : α_1 – поворот первого изображения навстречу второму, а α_2 – поворот второго изображения навстречу первому. В общем случае частные углы поворотов отличаются, существенным является обстоятельство, что углы α_1 и α_2 заведомо меньше угла α .

Показатель $G(\alpha_1, \alpha_2)$, характеризующий рассогласование первого и второго изображений можно представить в виде:

$$\begin{aligned} G(\alpha_1, \alpha_2) &= \sum \left[f_2(x, y) + \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} (-\alpha_2 y) + \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} \alpha_2 x - f_1(x, y) - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} \alpha_1 y - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} (-\alpha_1 x) \right]^2 = \\ &= \sum \left[f_2(x, y) + \alpha_2 \left(\frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} y \right) - f_1(x, y) + \alpha_1 \left(\frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} y \right) \right]^2 \quad (2) \end{aligned}$$

В выражении (2) рассогласование определяется как сумма квадратов разностей амплитуд изображений, повернутых на частные углы α_1 и α_2 . Для описания поворота изображений используются линеаризованные представления (1). Аргументом $G(\alpha_1, \alpha_2)$ являются неизвестные значения частных углов поворота α_1 и α_2 . При этом $G(\alpha_1, \alpha_2)$ достигает минимального значения при наилучшем совмещении первого и второго изображе-

ний. Для определения экстремума вычислим частные производные $G(\alpha_1, \alpha_2)$ по параметрам α_1, α_2 и приравняем результат нулю:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial G(\alpha_1, \alpha_2)}{\partial \alpha_1} &= 2 \sum \left[f_2(x, y) + \alpha_2 \left(\frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} y \right) - f_1(x, y) + \alpha_1 \left(\frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} y \right) \right] \times \\ &\times \left(\frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} y \right) = 0 \\ \frac{\partial G(\alpha_1, \alpha_2)}{\partial \alpha_2} &= 2 \sum \left[f_2(x, y) + \alpha_2 \left(\frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} y \right) - f_1(x, y) + \alpha_1 \left(\frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} y \right) \right] \times \\ &\times \left(\frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} y \right) = 0 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Систему алгебраических уравнений (3) можно преобразовать к виду:

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_1 \sum d_1^2(x, y) + \alpha_2 \sum d_1(x, y)d_2(x, y) &= D_1(x, y); \\ \alpha_1 \sum d_1(x, y)d_2(x, y) + \alpha_2 \sum d_2^2(x, y) &= D_2(x, y), \end{aligned} \right. \quad (4)$$

где $d_1(x, y), d_2(x, y), D_1(x, y), D_2(x, y)$ определяются по формулам:

$$d_1(x, y) = \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} y; \quad d_2(x, y) = \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} y;$$

$$D_1(x, y) = \sum [f_1(x, y) - f_2(x, y)] \left(\frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} y \right);$$

$$D_2(x, y) = \sum [f_1(x, y) - f_2(x, y)] \left(\frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} y \right).$$

Значения α_1, α_2 для частных углов будут определяться решением системы уравнений (4):

$$\alpha_1 = \frac{D_1(x, y) \sum d_2^2(x, y) - D_2(x, y) \sum d_1(x, y)d_2(x, y)}{\sum d_1^2(x, y) \sum d_2^2(x, y) - \left(\sum d_1(x, y)d_2(x, y) \right)^2};$$

$$\alpha_2 = \frac{D_2(x, y) \sum d_1^2(x, y) - D_1(x, y) \sum d_1(x, y)d_2(x, y)}{\sum d_1^2(x, y) \sum d_2^2(x, y) - \left(\sum d_1(x, y)d_2(x, y) \right)^2}, \quad (5)$$

а искомый угол поворота α :

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{D_1(x, y) \sum d_2^2(x, y) - (D_1(x, y) + D_2(x, y)) \sum d_1(x, y)d_2(x, y) + D_2(x, y) \sum d_1^2(x, y)}{\sum d_1^2(x, y) \sum d_2^2(x, y) - \left(\sum d_1(x, y)d_2(x, y) \right)^2}. \quad (6)$$

С целью сравнительного анализа был получен беспойсковый алгоритм определения угла α по двум изображениям, показатель рассогласования для которого описывается выражением:

$$G(\alpha) = \sum \left[f_2(x, y) - f_1(x, y) + \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x}(-\alpha y) + \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} \alpha x \right]^2 +$$

$$+ \sum \left[f_2(x, y) - f_1(x, y) - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} \alpha y - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y}(-\alpha x) \right]^2.$$

Аргументом $G(\alpha)$ является неизвестное значение угла поворота α . При этом $G(\alpha)$ достигает минимального значения при совмещении первого и второго изображений. Значение угла поворота α , при котором $G(\alpha)$ достигает минимального значения, определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\sum [f_1(x, y) - f_2(x, y)] \left(\frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} y + \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} y \right)}{\sum \left[\frac{\partial f_1(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_1(x, y)}{\partial x} y \right]^2 + \sum \left[\frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} y \right]^2}. \quad (7)$$

Результаты экспериментальных исследований

Результаты исследования (6),(7) показаны на рис.1 (погрешность определения угла $\Delta\alpha$ как функция величины угла поворота α). Изображение «cross1» – перекрещенные диагональные черные линии толщиной в 1 пиксель на белом фоне, «cross2» – аналогичный рисунок, но толщина линий 2 пикселя. Алгоритм «А» – непосредственное оценивание угла α (7), алгоритм «А12» – оценивание угла α с помощью частных углов (6). График характеризует зависимость ошибки определения угла, обусловленную функцией распределения амплитуд (яркостей изображения). При расширении перекрещивающихся полос на изображении уменьшается погрешность линейризованного представления смещенной функции с помощью ряда Тейлора и соответственно уменьшается погрешность определения угла поворота. По той же причине, поскольку модифицированный алгоритм работает с частными углами, которые примерно вдвое меньше оцениваемого угла, соответственно уменьшается погрешность линейризованного представления и в результате получают существенно меньшие погрешности определения угла поворота.

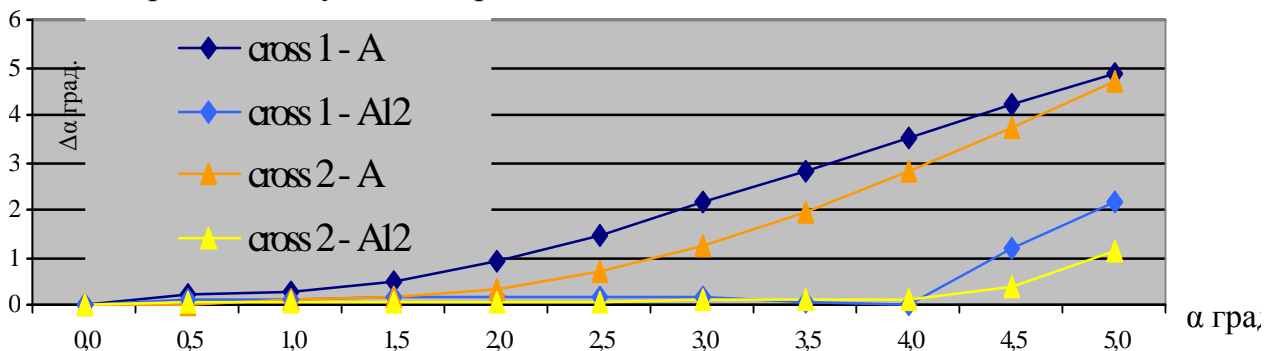


Рис. 1

Работа алгоритмов проверена на реальных магнитооптических изображениях (рис 2), «лин» - изображение рельефа линейки (рис. 2a), «фон» - изображение поверхности магнитной ленты, без рельефа (рис. 2b).

Результаты оценки угла приведены на рис 3. (погрешность определения угла $\Delta\alpha$ как функция величины α). Видно, что оба алгоритма имеют примерно одинаковые погрешности, когда угол $|\alpha| < 2$, при увеличении угла алгоритм, оперирующий с частными углами, дает заметно меньшие погрешности, что позволяет определять угол в более широких пределах.

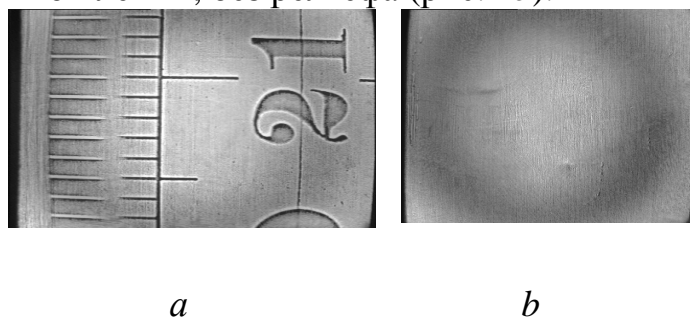


Рис. 2

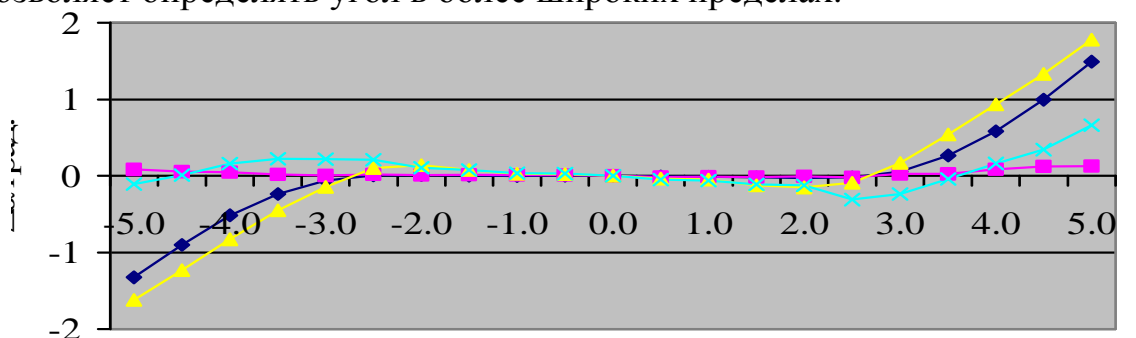


Рис. 3

Синтезированный алгоритм определения угла поворота изображений позволяет повысить точность оценки, расширить диапазон определяемых углов, получить более точное линейаризованное представление функции яркости изображения за счет представления искомого угла в виде суммы частных, меньших углов. Исследования показали, что предложенный алгоритм примерно вдвое увеличивает допустимый диапазон измерения углов поворота изображений по сравнению с известным алгоритмом.

Литература

1. Белоглазов Н.Н., Джанджгава Г.И., Чигин Г.П. Основы навигации по геофизическим полям. –М.: Наука, 1985. –328с.
2. Ташлинский А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений / Ульяновский государственный технический университет. –Ульяновск: УлГТУ, 2000. –132 с.

Ключові слова: оцінка кута нахилу зображень, цифрова обробка зображень.	
Мачнев О.М., Жук С.Я. Безпошуковий алгоритм визначення кута нахилу зображень Синтезовано безпошуковий алгоритм визначення кута нахилу зображень, який забезпечує вищу точність оцінювання за рахунок переходу до визначення часткових кутів нахилу зображень. Аналіз алгоритму виконано по тестовим реальним магнітооптичним зображенням.	Machnyev O.M., Zhuk S.Y. Non-search algorithm of image angle estimation Non-search algorithm of image angle estimation is presented. This algorithm improves precision of image angle estimation by means of estimation of particular angles, which are less than real angle. Analysis of algorithm includes investigation of test and real images rotation.