

4. Бичковський В.О., Реутська Ю.Ю.. Статистичні характеристики співвідношень завад та сигналів від дистанційно розміщених об'єктів // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2009 - Вип. 39. – с. 32-35.

Бичковський В.О., Реутська Ю.Ю. Розподіл потужності сигналів на вході приймача висотної аероплатформи. Розглянуто методика визначення щільності ймовірності потужності сигналу на вході приймача для організації ефективного інформаційного обміну між абонентськими станціями через аеростатну ретрансляційну станцію, що розташована на аеростатичному літальному апараті.

Ключові слова: аероплатформа, потужність сигналу, щільність ймовірності.

Бычковский В.А., Реутская Ю.Ю. Распределение мощности сигналов на входе приемника высотной аэроплатформы. Рассмотрена методика определения плотности вероятности мощности сигнала на входе приемника для организации эффективного информационного обмена между аэростатными станциями через аэростатную ретрансляционную станцию, расположенную на аэростатическом летательном аппарате.

Ключовые слова: аероплатформа, мощность сигнала, плотность вероятности.

Bychkovsky V.A., Reutskaya J.U. Distributing of power of signals on the entrance of receiver of height aerial platform. The method of determination of probability density of power of signal is considered on the entrance of receiver for organization of effective informative exchange between telephone subscriber stations through balloon retransmitting station, located on airship.

Key words: aerial platform, distributing of power of signal, probability density.

УДК 621.396.218

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ПОВОРОТА ПРИ НАЛОЖЕНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕШАННОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Мачнев А.М.

При совмещении изображений возникает задача определения угла поворота α одного изображения относительно другого. Для оценки угла α используются как корреляционные методы (поисковые) с преобразованием исходного изображения в полярную систему координат [1,2], так и беспойсковые методы, основанные на оценке малых параметров линеаризованного представления повернутого изображения [3,4,5]. Достоинством беспойсковых алгоритмов являются незначительные вычислительные затраты. Однако точность их алгоритмов зависит от вида функции, описывающей яркость (амплитуду) изображения [4]. В тех случаях, когда функция является широкополосной, приемлемая точность обеспечивается лишь при малых значениях угла поворота α . Поэтому актуальной задачей является синтез алгоритмов беспойскового типа, позволяющих расширить диапазон углов поворота, обеспечив при этом требуемую точность оценки. Следует

заметить, что при оценке угла в прямоугольной системе координат используется как линеаризованное представление функции яркости изображения, так и упрощенное представление для тригонометрических функций. Поэтому представляет интерес процедура оценки угла, использующая преимущества представления изображения в прямоугольной системе координат и полярного представления для оценки производной по оцениваемому углу.

Теоретическое обоснование

Связь между координатами некоторой точки изображения в полярной (ρ, φ) и декартовой (x, y) системе координат описывается известными соотношениями $x = \rho \cdot \cos(\varphi)$, $y = \rho \cdot \sin(\varphi)$. После поворота на угол α , точка, с декартовыми координатами (x, y) в первом изображении, займет положение (x', y') :

$$\begin{aligned}x' &= \rho \cdot \cos(\varphi + \alpha) = \rho \cdot \cos(\varphi) \cos(\alpha) - \rho \cdot \sin(\varphi) \sin(\alpha) = x \cos(\alpha) - y \sin(\alpha), \\y' &= \rho \cdot \sin(\varphi + \alpha) = \rho \cdot \sin(\varphi) \cos(\alpha) + \rho \cdot \cos(\varphi) \sin(\alpha) = y \cos(\alpha) + x \sin(\alpha).\end{aligned}\quad (1)$$

Разность координат между исходной (x, y) и повернутой точкой (x', y') можно записать так:

$$\begin{aligned}\Delta x &= x' - x = x \cos(\alpha) - y \sin(\alpha) - x, \\ \Delta y &= y' - y = y \cos(\alpha) + x \sin(\alpha) - y.\end{aligned}\quad (2)$$

Для малых углов выражение (2) упрощается: $\Delta x = -\alpha y$, $\Delta y = \alpha x$.

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

$$f(x - \alpha y, y + \alpha x) = f(x, y) + \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}(-\alpha y) + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \alpha x. \quad (3)$$

Показатель $G(\alpha)$, характеризующий рассогласование первого (яркость изображения описывается функцией $f_1(x, y)$) и второго изображений (яркость изображения описывается функцией $f_2(x, y)$) можно представить в виде:

$$G(\alpha) = \sum_{x,y} \left[f_2(x, y) + \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x}(-\alpha y) + \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y} \alpha x - f_1(x, y) \right]^2. \quad (4)$$

Аргументом $G(\alpha)$ являются неизвестное значение угла поворота α . При этом $G(\alpha)$ достигает минимального значения при наилучшем совмещении первого и второго изображений. Для определения экстремума вычисляем производную $G(\alpha)$ по параметру α и приравняем результат нулю:

$$\frac{\partial G(\alpha)}{\partial \alpha} = 0, \text{ и получим выражение для оценки угла поворота } \hat{\alpha}:$$

$$\hat{\alpha} = - \frac{\sum_{x,y} [f_2(x,y) - f_1(x,y)] \left[\frac{\partial f_2(x,y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x,y)}{\partial x} y \right]}{\sum_{x,y} \left[\frac{\partial f_2(x,y)}{\partial y} x - \frac{\partial f_2(x,y)}{\partial x} y \right]^2}. \quad (5)$$

В полярной системе координат выражения (3-5) записываются без использования тригонометрических функций и их линеаризованных приближений:

$$f(\rho, j + \alpha) = f(\rho, j) + \frac{\nabla f(\rho, j)}{\nabla j} \alpha, \quad G(\alpha) = \sum_{\rho, \varphi} \left[f_2(\rho, \varphi) + \frac{\partial f_2(\rho, \varphi)}{\partial \varphi} \hat{\alpha} - f_1(\rho, \varphi) \right]^2, \\ \hat{\alpha} = - \frac{\sum_{\rho, \varphi} [f_2(\rho, \varphi) - f_1(\rho, \varphi)] \frac{\partial f_2(\rho, \varphi)}{\partial \varphi}}{\sum_{\rho, \varphi} \left[\frac{\partial f_2(\rho, \varphi)}{\partial \varphi} \right]^2}. \quad (6)$$

Производные, с учетом дискретного характера изображений записываются через конечные разности: $\frac{\partial f(\rho, \varphi)}{\partial \varphi} = \frac{f(\rho, \varphi + \phi) - f(\rho, \varphi - \phi)}{2\phi}$.

По исходному изображению с функцией яркости $f(x, y)$, используя пересчет координат по (1) и интерполяцию можно построить вспомогательные изображения, одно повернуто относительно исходного на угол ϕ , другое – соответственно на $-\phi$, функции яркости для них: $f_{\phi}(x, y)$, $f_{-\phi}(x, y)$ соответственно. Тогда выражение (6) приобретает вид:

$$\hat{\alpha} = -2\phi \frac{\sum_{\rho, \varphi} [f_2(\rho, \varphi) - f_1(\rho, \varphi)] [f_2(\rho, \varphi + \phi) - f_2(\rho, \varphi - \phi)]}{\sum_{\rho, \varphi} [f_2(\rho, \varphi + \phi) - f_2(\rho, \varphi - \phi)]^2}, \quad (7)$$

и переходя обратно к прямоугольной системе координат:

$$\hat{\alpha} = -2\phi \frac{\sum_{x,y} [f_2(x,y) - f_1(x,y)] [f_{2+\phi}(x,y) - f_{2-\phi}(x,y)]}{\sum_{x,y} [f_{2+\phi}(x,y) - f_{2-\phi}(x,y)]^2}. \quad (8)$$

Поскольку автокорреляционная функция $R(0, \alpha - \beta) = \sum_{\rho, \varphi} [f(\rho, \alpha) \cdot f(\rho, \beta)]$ и $f_1(\rho, \varphi) = f_2(\rho, \varphi + \alpha)$ преобразуем (7): $\hat{\alpha} = \phi \frac{R(0, \alpha - \phi) - R(0, \alpha + \phi)}{[R(0, 0) - R(0, 2\phi)]}$

Полученное выражение позволяет оценить погрешность предлагаемого метода: $Err(\alpha) = \alpha - \hat{\alpha} = \alpha - \phi \frac{R(0, \alpha - \phi) - R(0, \alpha + \phi)}{[R(0, 0) - R(0, 2\phi)]}$.

Результаты экспериментальных исследований

Погрешность определения угла (10) для предлагаемого алгоритма (9) была проанализирована для двух типов магнитооптических изображений:

рис.1а – зображення сигнального фрагмента, рис.1б – зображення шумового фрагмента.

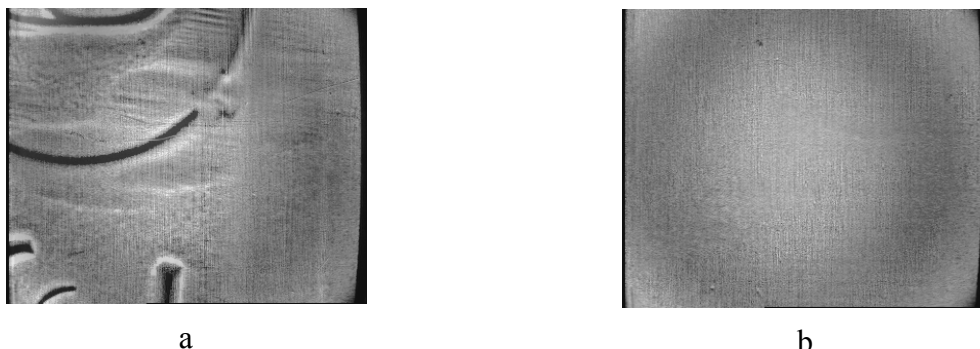


Рис. 1

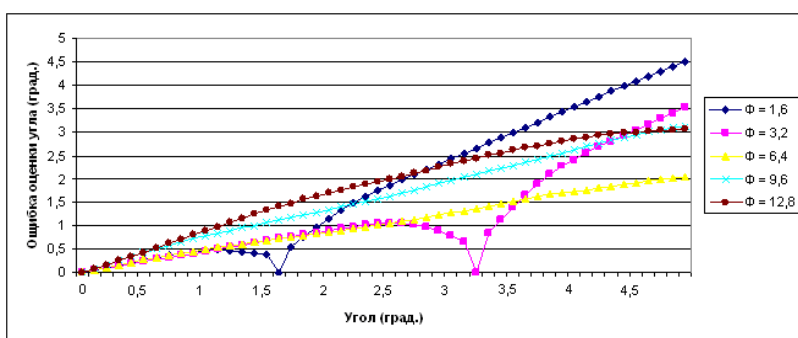


Рис.2

зображень шумового типу (рис.1б).

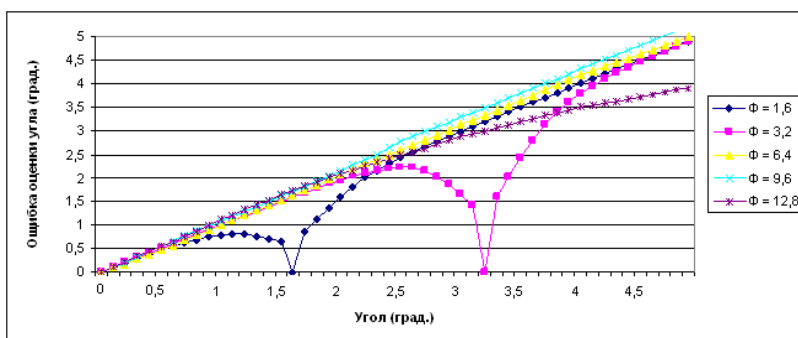


Рис.3

Оценку корреляционной функции выполнялась для 10 изображений каждого типа (шумового и сигнального) с последующим усреднением, чтобы получить «типичную» функцию. Как компромиссное решение для обоих типов изображений было выбрано значение $\phi = 6,4^\circ$. С учетом выбранного параметра была проведена оценка погрешности определения угла для обоих типов изображений по формуле (8).

Для набора значений вспомогательного угла поворота $\phi = \{1.6^\circ, 3.2^\circ, 6.4^\circ, 9.6^\circ, 12.8^\circ\}$ получены графики ошибки оценки угла: рис. 2 – для изображений сигнального типа (рис.1а), рис. 3 – для изображений шумового типа (рис.1б).

Оценка корреляционной функции выполнялась для 10 изображений каждого типа (шумового и сигнального) с последующим усреднением, чтобы получить «типичную» функцию. Как компромиссное решение для обоих типов изображений было выбрано значение $\phi = 6,4^\circ$. С учетом выбранного параметра была проведена оценка погрешности определения угла для обоих типов изображений по формуле (8).

Предложенный алгоритм для повышения точности был дополнен итерационным подходом. Итерации заключаются в том, что выполняется оценка угла $\hat{\alpha}_i$, второе из анализируемых изображений поворачивается на угол $-\hat{\alpha}_i$ с тем, чтобы уменьшить рассогласование между анализируемыми изображениями. Число итераций – не более 10. Ошибки оценки угла приведены на рис.4 для изображения сигнального типа и на рис.5 для изображения шумового типа.

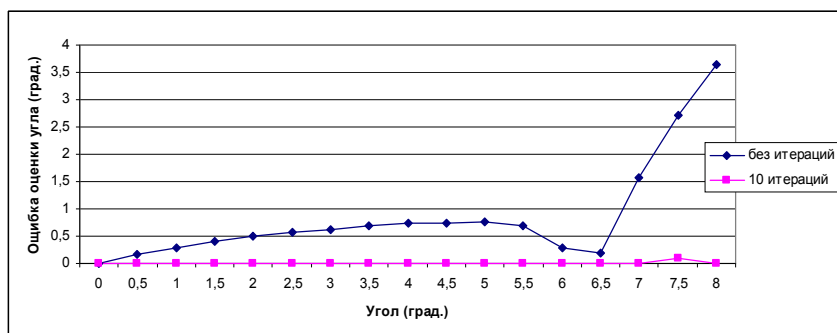


Рис.4

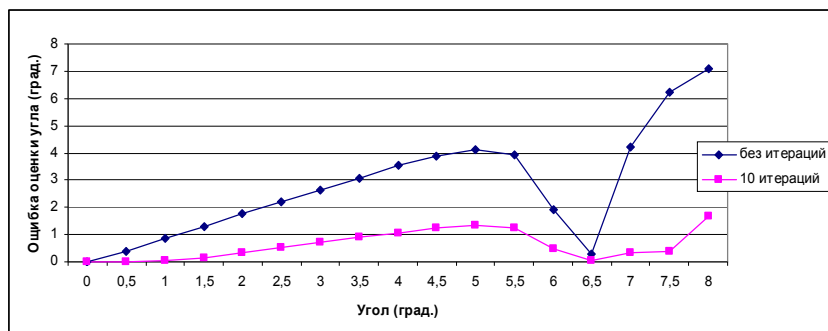


Рис.5

Полученные результаты показывают, что для изображений сигнального типа погрешность определения угла поворота не превышает $0,01^\circ$, для изображений шумового типа погрешность не превышает $1,5^\circ$ в диапазоне до $7,5^\circ$.

Для сравнения были выполнены расчеты для известных алгоритмов: (5) и предложенный в [5]

алгоритм, использующий оценки частичных углов. В исследуемом диапазоне изменения углов алгоритмы дают большую погрешность – более $4,5^\circ$ и для шумовых изображений и для сигнальных изображений.

Выводы

Синтезирован беспойсковый алгоритм определения угла поворота изображений (8), позволяющий повысить точность оценки и расширить диапазон определяемых углов. Результаты экспериментальных исследований показали, что предложенный алгоритм почти втрое уменьшает погрешность определения угла поворота в диапазоне измерения углов до $7,5^\circ$ по сравнению с известными алгоритмами.

Литература

1. J. J. K. 'O Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking," Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Oct 1997, pp. 536–539.
2. David Casasent, Mark Kraus, "Polar camera for space-variant pattern recognition", Applied Optics, Vol. 17, No. 10, May 1978.
3. Белоглазов Н.Н., Джанджгава Г.И., Чигин Г.П. Основы навигации по геофизическим полям. –М.: Наука, 1985. –328с.

4. Ташлинский А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений / Ульяновский государственный технический университет. –Ульяновск: УлГТУ, 2000. –132 с.

5. Жук С.Я., Мачнев А.М. Беспойсковый алгоритм определения угла поворота изображений. Вісник НТУУ „КПІ”, серія Радіотехніка, радіоапаратобудування. –2008. – №37. –С.33-37

*Мачнев А.М. **Определение угла поворота при наложении изображений с использованием смешанной системы координат.** Синтезирован беспойсковый алгоритм определения угла поворота одного изображения относительно другого, обеспечивающий повышение точности оценивания угла в широких пределах по отношению к известным алгоритмам. Изображения представлены в прямоугольной системе координат, а для оценки производной по углу используются симметрично повернутые копии одного из изображений. Анализ алгоритма проведен по теоретической модели и реальным магнитооптическим изображениям.*

Ключевые слова: оценка угла поворота изображений, цифровая обработка изображений.

*Мачнев О.М. **Визначення кута нахилу при накладенні зображень з застосуванням змішаної системи координат.** Синтезовано безпошуковий алгоритм визначення кута нахилу одного зображення відносно іншого, який забезпечує покращення точності оцінювання кута в широких межах по відношенню до відомих алгоритмів. Зображення наведені у прямокутній системі координат, а для оцінки похідної по куту використовуються симетрично нахилені копії одного з зображень. Аналіз алгоритму проведено по теоретичній моделі та по реальним магнітооптичним зображенням.*

Ключові слова: оцінка кута нахилу зображень, цифрова обробка зображень.

*Machnyev O.M. **Estimation of rotation angle on image superposition by using mixed coordinate system.** Non-search algorithm of image angle estimation is presented. This algorithm improves precision of image angle estimation in wide range in comparison to known algorithms. Images are presented in rectangle system of coordinate and for derivative calculation two symmetrically rotated copies of one image are used. Analysis of algorithm includes investigation of theoretical model and real magneto-optic images.*

Key words: image angle estimation, digital image processing.