



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011151194/28, 14.12.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.12.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.12.2011

(45) Опубликовано: 20.06.2013 Бюл. № 17

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Козлов В.Л., Кузьмичев И.Р. Измеритель дальности и размерных параметров объектов на основе цифровой фотокамеры. Вестник БГУ, сер.1, 2011, №1, с.33-38. US 5432594 A, 11.07.1995. JP 2008015863 A, 24.01.2008. US 7729516 B2, 01.06.2010. JP 4771797 B2, 14.09.2011. US 7659921 B2, 09.02.2010.

Адрес для переписки:

220030, Республика Беларусь, г.Минск, пр. Независимости, 4, Белорусский государственный университет, НИЧ-ГУН, проректору по научной работе О.А. Ивашкевичу

(72) Автор(ы):

Козлов Владимир Леонидович (BY)

(73) Патентообладатель(и):

Белорусский государственный университет (БГУ) (BY)

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ НА ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЕ

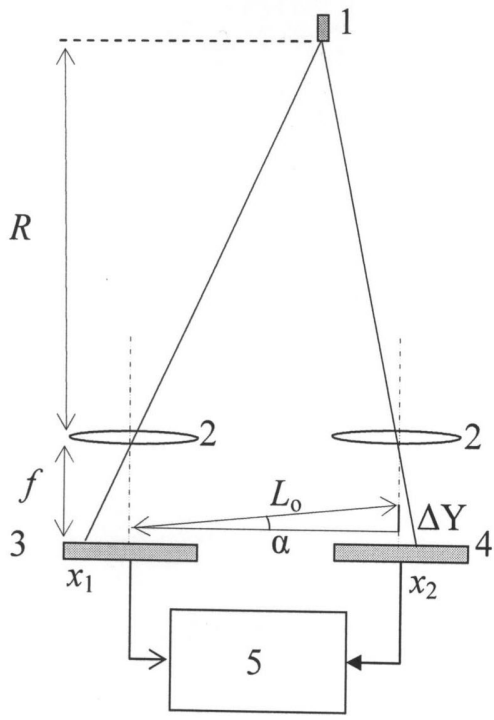
(57) Реферат:

Изобретение может использоваться для измерения дальности и линейных размеров объектов по их цифровым фотографическим изображениям. Способ включает получение двух цифровых изображений объекта с использованием двух фотокамер, разнесенных по горизонтали на известное расстояние. Дальность до объекта определяется по сдвигу между изображениями по горизонтальной оси. Размер сканирующего окна с изображением объекта выбирают так, чтобы разность расстояний до отдельных фрагментов объекта была меньше инструментального разрешения по дальности. Осуществляют сканирование по горизонтали и вертикали, сдвиг между изображениями Δx определяют по положению максимального значения двумерной

нормированной корреляционной функции. Уточняют положение максимума корреляционной функции в субпиксельном диапазоне и осуществляют локализацию максимума между узлом сетки с наибольшим значением корреляционной функции и его соседними узлами. Определяют дальность и размеры объекта. Дальность до выделенной области объекта определяют из выражения

$$R = \frac{f \cdot L_0}{\Delta x} \cdot \cos \left(\arctg \frac{\Delta y}{\Delta x} \right),$$

где L_0 - расстояние между точками фотографирования в пространстве, f - фокусное расстояние фотокамеры, Δx , Δy - сдвиги между изображениями по горизонтали и вертикали соответственно. Технический результат - повышение точности измерений расстояний. 1 ил.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01C 3/08 (2006.01)
G01S 11/12 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011151194/28, 14.12.2011

(24) Effective date for property rights:
14.12.2011

Priority:

(22) Date of filing: 14.12.2011

(45) Date of publication: 20.06.2013 Bull. 17

Mail address:

220030, Respublika Belarus', g.Minsk, pr.
Nezavisimosti, 4, Belorusskij gosudarstvennyj
universitet, NICH-GUN, prorektoru po nauchnoj
rabote O.A. Ivashkevichu

(72) Inventor(s):

Kozlov Vladimir Leonidovich (BY)

(73) Proprietor(s):

Belorusskij gosudarstvennyj universitet (BGU)
(BY)

(54) **METHOD TO MEASURE DISTANCES IN DIGITAL CAMERA**

(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: method includes getting two digital images of an object using two cameras spaced along the horizontal line at the available distance. The distance to the object is identified by the shift between images on the horizontal axis. The size of the scanning window with the object image is selected so that difference of distances to certain fragments of the object is less than the instrumental resolution by distance. Scanning is carried out along the horizontal and vertical line, shift between images Δx is defined by position of the maximum value of 2D rated correlation function. The correlation function maximum position is confirmed in a subpixel range, and the maximum is localised between the grid node with the highest value of the correlation function and its adjacent nodes. Distance and dimensions of the object are defined. The distance to the separated area of the object is defined based on

$$R = \frac{f \cdot L_0}{\Delta x} \cdot \cos\left(\arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}\right),$$

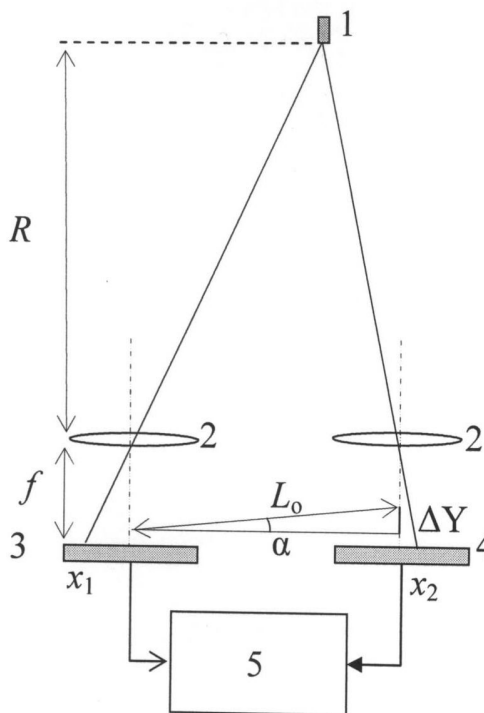
where L_0 -

distance between points of photographing in the space, f - focus distance of the camera, Δx , Δy -

shifts between images along the horizontal and vertical lines, accordingly.

EFFECT: improved accuracy of distance measurements.

1 dwg



RU 2 485 443 C1

RU 2 485 443 C1

Изобретение относится к области информационно-измерительных систем и предназначается для решения задач измерения дальности и линейных размеров объектов по их цифровым фотографическим изображениям.

5 Известен способ измерения дальности и линейных размеров объектов по их телевизионным изображениям [1], основанный на последовательном формировании двух ТВ-изображений с помощью одной ТВ-камеры, с изменяемым фокусным
10 расстоянием объектива для разных точек наблюдения, разнесенных между собой на априорно известное расстояние. Недостатком такой системы является малый диапазон измеряемых расстояний и невысокая точность измерений, обусловленная невысоким разрешением строчной развертки при формировании телевизионного изображения.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ измерения расстояний до объекта [2], обладающего осью симметрии, с использованием двух
15 цифровых фотокамер, разнесенных в пространстве по горизонтали на известное расстояние. На фотокамерах формируются два цифровых изображения измеряемого объекта. На каждом изображении формируется окно шириной, равной размеру объекта. Затем вычисляется оценочная функция между двумя изображениями объекта, находящегося в выделенном окне, причем одно изображение последовательно
20 сдвигается по горизонтали относительно другого. По минимальному значению оценочной функции определяется сдвиг между изображениями объекта. Дальность до объекта определяется по сдвигу между изображениями, при этом необходимо знать расстояние между фотокамерами и фокусное расстояние объективов камер. Недостатком этого способа является низкая точность измерения дальности,
25 обусловленная следующими причинами. Во-первых, если измеряемый объект имеет объемную форму, разные части изображения, находящиеся на разных расстояниях, будут иметь различные сдвиги. Оценочная функция между двумя изображениями вычисляется путем вычитания идентичных точек одного изображения из другого при
30 последовательном сдвиге одного окна относительно другого (формула (2) [2]). При полном совпадении двух изображений оценочная функция должна быть равна нулю (фиг.3 [2]). Так как разные части изображения находятся на разных расстояниях, то они будут иметь различные сдвиги, следовательно изображения не могут совпасть и оценочная функция в принципе не может быть равной нулю. Это ухудшает точность
35 измерения сдвига, а значит точность измерения расстояний. Другая причина обусловлена тем, что при вычислении дальности в системе не учитывается возможное отклонение от горизонтальной линии положения двух цифровых фотокамер, разнесенных в пространстве по горизонтали на известное расстояние. Третья причина
40 низкой точности измерения дальности заключается в том, что сдвиг между изображениями на фотоприемной матрице определяется только с точностью до одного пикселя.

Задача изобретения - повышение точности измерений расстояний. Решение поставленной задачи позволит использовать предлагаемое изобретение для измерения
45 расстояний и размеров объектов как для решения задач криминалистики на местах преступлений, занимающих значительные территории (места взрывов, крушений, техногенных аварий и т.д.), так и для решения задач геодезии, картографии, строительства т.п.

50 Поставленная задача решается путем того, что в способе измерения расстояний на цифровой фотокамере, заключающемся в получении двух цифровых фотографических изображений измеряемого объекта с использованием двух фотокамер, разнесенных в пространстве по горизонтали на известное расстояние; при этом дальность до объекта

определяется по сдвигу между изображениями объекта по горизонтальной оси, размер сканирующего окна с изображением объекта выбирают таким образом, чтобы разность расстояний до отдельных фрагментов объекта была меньше инструментального разрешения по дальности, осуществляют сканирование по горизонтали и вертикали, сдвиг между изображениями Δx определяют по положению максимального значения двухмерной нормированной корреляционной функции R в соответствии с выражением

$$R(\Delta x, \Delta y) = \frac{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)(I_2(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)^2 \sum_{x,y} (I_2(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{I}_2)^2}}$$

$$\bar{I}_n = \frac{\sum_{x,y} I_n(x, y)}{x_{\max} y_{\max}}$$

где I_1 - сигнал окна сканирования первого изображения; I_2 - сигнал окна сканирования второго изображения; x_{\max} , y_{\max} - размер сканирующего окна; Δx , Δy - сдвиги по горизонтали и вертикали, соответственно, \bar{I}_1 , \bar{I}_2 - средние значения сигнала в первом и втором окне сканирования, соответственно; $n=1, 2$; осуществляют уточнение положения максимума корреляционной функции в субпиксельном диапазоне в соответствии с выражением

$$I(x+ih, y+jh) = (1-ih)(1-jh) \cdot I(x, y) + (1-jh)ih \cdot I(x+1, y) + (1-ih)jh \cdot I(x, y+1) + ijh^2 \cdot I(x+1, y+1),$$

где h - шаг сетки уточнения; i, j - горизонтальный и вертикальный индексы узла, соответственно; $I(x, y)$ - максимальное значение корреляционной функции, $I(x+1, y)$, $I(x, y+1)$, $I(x+1, y+1)$ - значения интенсивности корреляционной функции в ближайших точках; затем осуществляют локализацию максимума между узлом сетки с наибольшим значением корреляционной функции и его соседними узлами в соответствии с выражением

$$\Delta x = \frac{1}{2} \frac{(x_{m+1}^2 - x_m^2)(I_m - I_{m-1}) + (x_m^2 - x_{m-1}^2)(I_m - I_{m+1})}{(x_{m+1} - x_m)(I_m - I_{m-1}) + (x_m - x_{m-1})(I_m - I_{m+1})}$$

где I_m , x_m - интенсивность и координата узла сетки с максимальным значением интенсивности, I_{m+1} , I_{m-1} , x_{m+1} , x_{m-1} - интенсивности и координаты соседних узлов сетки; а дальность R до выделенной области объекта определяют из выражения

$$R = \frac{f \cdot L_0}{\Delta x} \cdot \cos\left(\operatorname{arctg} \frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

где L_0 - расстояние между точками фотографирования в пространстве, f - фокусное расстояние фотокамеры; при этом размеры k -го объекта определяются из выражений

$$H_k = \frac{R_k \cdot y_k}{f} \quad D_k = \frac{R_k \cdot x_k}{f}$$

где R_k - расстояния до k -го объекта, x_k , y_k - размеры объекта на фотоприемной матрице по горизонтали и вертикали, соответственно, H_k - высота объекта, D_k - ширина объекта.

Свойство, появляющееся у заявляемого объекта, это повышение точности измерения расстояний, обусловленное тем, что за счет выбора соответствующего размера сканирующего окна достигается максимальное значение корреляционной

функции, а за счет использования предложенной методики субпиксельной интерполяции достигается повышение точности определения сдвига между изображениями. Так как вычисляется двухмерная корреляционная функция и осуществляется ее нормировка, то устраняется влияние на точность измерения различия яркости и контрастности обоих изображений, а также отклонение взаимного расположения измерительных камер от горизонтальной линии.

Сущность способа измерений поясняется с помощью чертежа, на котором представлена функциональная схема измерителя расстояний на основе цифрового фотоаппарата. Система содержит: измеряемый объект 1, два цифровых фотоаппарата, состоящих из линз 2 и фотоприемных матриц 3, 4, соответственно, вычислительный блок 5.

Измеритель расстояний работает следующим образом. С помощью цифровых фотоаппаратов на фотоприемных матрицах 3 и 4 реализуются цифровые изображения измеряемых объектов. Полученные два цифровых изображения одних и тех же объектов поступают в вычислительный блок, где производится измерение расстояний по следующему алгоритму. На первом изображении формируется окно сканирования, размер которого выбирают таким образом, чтобы разность расстояний до отдельных фрагментов выделенного объекта была меньше инструментального разрешения по дальности. Если поверхность объекта является плоскостью, перпендикулярной горизонтали и оси наблюдения, то все точки плоскости будут находиться на одинаковом расстоянии от объектива. Если предмет имеет объемную форму, то необходимо на нем выделить плоскую поверхность. Автоматически окно сканирования с такими же координатами формируется и на втором снимке. Затем осуществляется сканирование одного окна относительно другого по горизонтали и вертикали, при этом вычисляется значение двухмерной нормированной корреляционной функции между выделенными изображениями в соответствии с выражением

$$R(\Delta x, \Delta y) = \frac{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)(I_2(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)^2 \sum_{x,y} (I_2(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{I}_2)^2}}$$

$$\bar{I}_n = \frac{\sum_{x,y} I_n(x, y)}{x_{\max} y_{\max}}, \quad (1)$$

где I_1 - сигнал окна сканирования первого изображения; I_2 - сигнал окна сканирования второго изображения; x_{\max} , y_{\max} - размер сканирующего окна по горизонтали и вертикали, соответственно; Δx , Δy - сдвиг по горизонтали и вертикали, соответственно; \bar{I}_1 , \bar{I}_2 - средние значения сигнала в первом и втором окне сканирования, соответственно; $n=1, 2$. Из приведенного выражения следует, что сканирование осуществляется по горизонтали и вертикали. По положению максимального значения нормированной корреляционной функции (1) определяют сдвиг между изображениями $\Delta x = x_2 - x_1$. Так как все точки объекта в выделенном окне находятся на одинаковом расстоянии и осуществляется нормировка по величине среднего значения сигнала, то достигается максимальное значение корреляционной функции, и при полном совпадении изображений корреляционная функция (1) будет равна единице. Дальность R до выделенной области объекта определяется из выражения

$$R = \frac{f \cdot L}{\Delta x}, \quad (2)$$

где L - расстояние между фотокамерами, f - фокусное расстояние фотокамер.
 Аналогичным образом определяются расстояния R_k , до всех объектов, попавших в поле зрения фотокамеры.

Измеритель расстояний также позволяет измерять высоту и линейные размеры объектов. Это осуществляется следующим образом. Определив значение расстояния до k-того объекта R_k и размеры этого объекта на фотоприемной матрице x_k по горизонтали и y_k по вертикали, ширина объекта D_k и высота H_k определяются из выражений

$$H_k = \frac{R_k \cdot y_k}{f},$$

$$D_k = \frac{R_k \cdot x_k}{f}. \quad (3)$$

Так как сканирование одного окна относительно другого осуществляется со сдвигом на один пиксель вдоль осей координат, то положение максимума корреляционной функции и, следовательно, сдвиг между изображениями определяется также с точностью в один пиксель. Этот фактор значительно ограничивает точность измерения расстояний. Для повышения точности измерения расстояний необходимо определять положение максимума корреляционной функции (сдвига между изображениями Δx) в пределах одного пикселя.

Для уточнения величины сдвига Δx в субпиксельном диапазоне используется билинейная интерполяция сигнала с заданным шагом, алгоритм которой заключается в следующем. Обычно область уточнения выбирается шириной и высотой в 2 пикселя. В точке максимального значения корреляционной функции $I(x, y)$, полученного на этапе грубой оценки с точностью в один пиксель, строится сетка ячеек, соответствующих узлам интерполяции, и ведется повторное сканирование с шагом равным $h=1/k$ пикселя, где k - целое число ($k=5 \dots 20$). Таким образом, вычисляется значение корреляционной функции для k^2 узлов сетки. Интенсивность $I(x+ih, y+jh)$ узла сетки вычисляется из выражения

$$I(x+ih, y+jh) = (1-ih)(1-jh) \cdot I(x, y) + (1-jh)ih \cdot I(x+1, y) + (1-ih)jh \cdot I(x, y+1) + ijh^2 \cdot I(x+1, y+1), \quad (4)$$

где $h=1/k$ - шаг сетки; i, j - горизонтальный и вертикальный индексы узла соответственно; $I(x, y)$ - максимальное значение корреляционной функции $I(x+1, y)$, $I(x, y+1)$, $I(x+1, y+1)$ - значения интенсивности корреляционной функции в точках, ближайших к максимальному. Затем производится коррекция ошибки при помощи параболической интерполяции между узлом сетки с наибольшим значением корреляционной функции и его соседними узлами, локализирующая максимум параболы в заданном интервале. Допустим, найден узел сетки с максимальным значением интенсивности I_m и координатой x_m . А его соседние узлы с координатами x_{m+1} и x_{m-1} имеют значения интенсивности I_{m+1} и I_{m-1} , причем $I_{m+1} < I_m$ и $I_{m-1} < I_m$. Для уточнения величины смещения на заданном интервале проводится локализация максимума путем параболической интерполяции в соответствии с выражением

$$\Delta x = \frac{1}{2} \frac{(x_{m+1}^2 - x_m^2)(I_m - I_{m-1}) + (x_m^2 - x_{m-1}^2)(I_m - I_{m+1})}{(x_{m+1} - x_m)(I_m - I_{m-1}) + (x_m - x_{m-1})(I_m - I_{m+1})}, \quad (5)$$

Очевидно, что билинейная интерполяция дает разрешение в пределах одного

пикселя, равное $1/k$, а параболическая интерполяция имеет относительную погрешность 17%. Следовательно, если взять $k=10\dots 15$, то разрешение при определении сдвига составит величину в сотую долю пикселя.

Учет отклонения от горизонтальной линии положения двух цифровых фотокамер осуществляется следующим образом. Если фотокамеры расположены точно на одной горизонтальной линии, то сдвиг между изображениями объекта по вертикальной оси будет отсутствовать, т.е. $\Delta y=0$, следовательно расстояние между фотокамерами в пространстве L_0 будет равно расстоянию между фотокамерами по горизонтальной оси $L=L_0$.

Если имеется сдвиг между фотокамерами по вертикальной оси ΔY , как показано на чертеже (при этом оптические оси объективов камер параллельны), то расстояние между фотокамерами по горизонтальной оси не будет равно L_0 , а будет определяться следующим образом

$$L = L_0 \cos \alpha, \quad (6)$$

где L_0 - расстояние между фотокамерами в пространстве, α - угол между горизонтальной осью и линией, соединяющей фотокамеры. При этом сдвиг между изображениями объекта на фотокамерах по вертикальной оси не будет равен нулю $\Delta y \neq 0$. Определив сдвиг между изображениями объекта по горизонтальной и вертикальной осям Δx и Δy , можно найти угол α из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta y / \Delta x. \quad (7)$$

Таким образом, расчетная формула для определения дальности (1), учитывающая отклонение от горизонтальной линии положения двух цифровых фотокамер, будет иметь вид

$$R = \frac{f \cdot L_0}{\Delta x} \cdot \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{\Delta y}{\Delta x} \right), \quad (8)$$

где L_0 - расстояние между точками фотографирования в пространстве, f - фокусное расстояние фотокамеры, Δx - сдвиг между изображениями объекта по горизонтальной оси, Δy - сдвиг между изображениями объекта по вертикальной оси.

Вычислительный блок с помощью геометрии полученных изображений объектов может также осуществить измерение расстояний между объектами на цифровой фотографии. Знать точное значение расстояния между чувствительными элементами фотоприемной матрицы и значение фокуса объектива нет необходимости, так как эти значения можно определить при калибровке системы на точно известном расстоянии.

Большинство современных лазерных дальномеров основаны на активном способе измерения дальности, заключающемся в посылке на дистанцию лазерного импульса. Такой способ не обеспечивает скрытность измерений, так как оптические датчики, установленные на цели, позволяют легко выявить как сам факт измерения, так и определить направление и координаты точки, откуда было произведено измерение, т.е. происходит рассекречивание дальномера. Предлагаемый способ измерения дальности является пассивным и основан на анализе изображений объектов, полученных в результате фотографирования. Такой метод обеспечивает скрытность измерений, т.е. измеряемые объекты не могут обнаружить, что по ним измеряется дальность, что особенно важно для решения военных задач.

Предлагаемая система позволяет измерять расстояния до тех объектов, до которых невозможно или очень сложно проводить измерения с помощью лазерных дальномеров, например тонкие провода, антенны, находящиеся на большом расстоянии, объекты с низким коэффициентом отражения, зеркальные поверхности,

прозрачные облака, птицы, животные, люди и т.п. Особое значение данная система имеет для обеспечения работы правоохранительных органов на местах преступлений, занимающих значительные территории (места взрывов, крушений, техногенных аварий и т.д.), когда зафиксировать традиционными средствами местоположение всего множества объектов (следов, обломков и т.д.) невозможно. Измеритель может быть использован также для решения задач геодезии и картографии по измерению расстояний, размеров и расположения предметов на местности, размеров неровностей поверхности земли (горы, скалы) и т.п.; в метеорологии для измерения высоты облаков, размеров облаков, для измерения высоты леса и т.п.

Таким образом, за счет выбора соответствующего размера сканирующего окна и измерения положения максимума двумерной нормированной корреляционной функции в субпиксельном диапазоне достигается повышение точности измерения расстояний в результате анализа двух цифровых фотографических изображений, полученных с фотокамер, разнесенных в пространстве по горизонтали.

Источники информации

1. Патент РФ №2381521. G01S 11/00. Способ измерения дальности и линейных размеров объектов по их телевизионным изображениям. 2009 г.
2. US Patent №5432594, G01C 3/00. 1995.

Формула изобретения

Способ измерения расстояний на цифровой фотокамере, заключающийся в получении двух цифровых фотографических изображений измеряемого объекта с использованием двух фотокамер, разнесенных в пространстве по горизонтали на известное расстояние; при этом дальность до объекта определяется по сдвигу между изображениями объекта по горизонтальной оси, отличающийся тем, что размер сканирующего окна с изображением объекта выбирают таким образом, чтобы разность расстояний до отдельных фрагментов объекта была меньше инструментального разрешения по дальности, осуществляют сканирование по горизонтали и вертикали, сдвиг между изображениями Δx определяют по положению максимального значения двумерной нормированной корреляционной функции R в соответствии с выражением

$$R(\Delta x, \Delta y) = \frac{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)(I_2(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)^2 \sum_{x,y} (I_2(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{I}_2)^2}}, \quad \bar{I}_n = \frac{\sum_{x,y} I_n(x, y)}{X_{\max} Y_{\max}},$$

где I_1 - сигнал окна сканирования первого изображения;

I_2 - сигнал окна сканирования второго изображения;

X_{\max}, Y_{\max} - размер сканирующего окна;

$\Delta x, \Delta y$ - сдвиги по горизонтали и вертикали соответственно,

\bar{I}_1, \bar{I}_2 - средние значения сигнала в первом и втором окне сканирования соответственно;

$n=1, 2$;

осуществляют уточнение положения максимума корреляционной функции в субпиксельном диапазоне в соответствии с выражением

$$I(x+ih, y+jh) = (1-ih)(1-jh) \cdot I(x, y) + (1-jh)ih \cdot I(x+1, y) + (1-ih)jh \cdot I(x, y+1) + ijh^2 \cdot I(x+1, y+1),$$

где h - шаг сетки уточнения;

i, j - горизонтальный и вертикальный индексы узла соответственно;

$I(x, y)$ - максимальное значение корреляционной функции;

$I(x+1, y), I(x, y+1), I(x+1, y+1)$ - значения интенсивности корреляционной функции в ближайших точках;

5 затем осуществляют локализацию максимума между узлом сетки с наибольшим значением корреляционной функции и его соседними узлами в соответствии с выражением

$$10 \Delta x = \frac{1 \left(x_{m+1}^2 - x_m^2 \right) \left(I_m - I_{m-1} \right) + \left(x_m^2 - x_{m-1}^2 \right) \left(I_m - I_{m+1} \right)}{2 \left(x_{m+1} - x_m \right) \left(I_m - I_{m-1} \right) + \left(x_m - x_{m-1} \right) \left(I_m - I_{m+1} \right)},$$

где I_m, x_m - интенсивность и координата узла сетки с максимальным значением интенсивности,

15 $I_{m+1}, I_{m-1}, x_{m+1}, x_{m-1}$ - интенсивности и координаты соседних узлов сетки; а дальность R до выделенной области объекта определяют из выражения

$$R = \frac{f \cdot L_o}{\Delta x} \cdot \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{\Delta y}{\Delta x} \right),$$

20 где L_o - расстояние между точками фотографирования в пространстве, f - фокусное расстояние фотокамеры;

при этом размеры k -го объекта определяются из выражений

$$H_k = \frac{R_k \cdot y_k}{f}, D_k = \frac{R_k \cdot x_k}{f},$$

25 где R_k - расстояния до k -го объекта;

x_k, y_k - размеры объекта на фотоприемной матрице по горизонтали и вертикали соответственно;

H_k - высота объекта;

30 D_k - ширина объекта.

35

40

45

50