

УДК 519.6

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ З БАГАТОЕЛЕМЕНТНИМИ ПРИЙМАЧАМИ І ПРОЦЕДУРОЮ АВТОКАЛІБРОВКИ

В. А. Моспан, О. О. Юрко, С. О. Домбровський

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kafea@kdu.edu.ua

Представлено варіант реалізації процедури автокалібровки, яка дозволяє здійснити тестування та корекцію неоднорідної чутливості матриці фотоприймальних елементів за результатами спостереження досліджуваного об'єкта. Запропонована модель системи містить в собі рухому віддзеркалюючу поверхню, яка дозволяє зображенню переміщуватися по поверхні матриці фотоприймальних елементів круговими рухами. Використовуючи математичний алгоритм, можливо забезпечити корекцію геометричного шуму в режимі максимально можливої адаптації. Слід зазначити, що природним аналогом процедури автокалібровки, що розглядається, є зорова система людини та вищих ссавців. Для встановлення придатності даної моделі необхідно отримати співвідношення між координатами зображення та їх проекцією на фотоприймальну матрицю. Це дозволить встановити раціональний діапазон зміни кутів нахилу поворотної пластини для мінімізації спотворень проекції зображення.

Ключові слова: фотоприймальний елемент, автокалібровка, сканування, геометричний шум.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМИ ПРИЁМНИКАМИ И ПРОЦЕДУРОЙ АВТОКАЛИБРОВКИ

В. А. Моспан, А. А. Юрко, С. О. Домбровский

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kafea@kdu.edu.ua

Представлен вариант реализации процедуры автокалибровки, которая позволяет осуществить тестирование и коррекцию неоднородной чувствительности матрицы фотоприемных элементов по результатам наблюдения исследуемого объекта. Предложенная модель системы содержит в себе подвижную отражающую поверхность, которая позволяет изображению перемещаться по поверхности матрицы фотоприемных элементов круговыми движениями. Используя математический алгоритм возможно обеспечить коррекцию геометрического шума в режиме максимально возможной адаптации. Следует отметить, что естественным аналогом процедуры автокалибровки, что рассматривается, является зрительная система человека и высших млекопитающих. Для установления пригодности данной модели необходимо получить соотношения между координатами изображения и их проекцией на фотоприемную матрицу, что позволит установить рациональный диапазон изменения углов наклона поворотной пластинки для минимизации искажений проекции изображения.

Ключевые слова: фотоприемный элемент, автокалибровка, сканирование, геометрический шум.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. При використанні матричних перетворювачів зображення, виникає ціла низка проблем. Однією з таких проблем є геометричний шум – нерівномірність чутливості матриці фотоприймальних елементів (ФПЕ), яка обумовлена нестабільністю параметрів фоточутливих елементів, їх технологічною неоднорідністю та спотвореннями в оптичному тракті.

Ці недоліки традиційно усувають шляхом калібровки – попередньої реєстрації зображень однорідних за полем тестових випромінювачів. Але постають питання стосовно одноманітності виготовлення еталонних випромінювачів, стабільності системи між сусідніми калібровками, а також варіаціями спектрального складу випромінювання.

Тому метою роботи є вирішення питання розробки альтернативної методики усунення вищевказаних недоліків.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У роботах [1–3] пропонується нова процедура адаптивної калібровки, яка дозволяє здійснити тестування та корекцію неоднорідної чутливості матриці ФПЕ за результатами спостереження досліджуваного об'єкта, тобто в умовах максимально можливої адаптації до умов дослідження.

Особливістю методу є використання двовимірного сканування матриці ФПЕ відносно зображення.

При незмінному полі зору спостережуваного об'єкту та фіксованому положенні камери відносно можливих джерел паразитного фонового випромінювання, така процедура дозволяє отримати додаткову інформацію про ФПЕ та провести адаптивну корекцію їх параметрів.

Слід додати, що природним аналогом системи, в якій здійснюється подібне сканування, є зорова система вищих ссавців і людини.

Як варіант реалізації процедури автокалібровки, викладеної в [4], запропоновано пристрій з рухомою віддзеркалюючою поверхнею, яка дозволяє зображенню переміщуватися по поверхні матриці фотоприймальних елементів круговими рухами (по аналогії із зоровою системою [5]). Це дозволить усунути геометричні шуми зображення за допомогою використання алгоритму обробки наведеного в [4]. Модель запропонованої системи зображення в промінь (3) має координату зміщення по вертикальній осі y' , а по горизонтальній z' .

Площина поворотної пластини розташована паралельно осі z під кутом α до вісі y . Вхідний промінь AA' та відбитий від пластини AB лежать у площині (1) перпендикулярно поворотній пластині та водночас паралельно площині XOY .

Окремо зобразимо площину (1) на рис. 2. Перетином сфери з радіусом R площиною (1) є коло з радіусом $\sqrt{R^2 - z^2}$.

Вхідний промінь (3) падає паралельно осі x на поворотну віддзеркалюючу пластину (4) в точці A . Тоді кут між променем (3) і перпендикуляром до пластини (4) також дорівнює α – куту нахилу пластини. Тобто між вхідним променем (3) і віддзеркаленим (4), кут складає 2α .

Запишемо рівняння прямої BA згідно з рис. 3:

$$y = k_1(x - x_{01}) \quad (1)$$

де $k_1 = -tg2\alpha$,

$$x_{01} = 0_20_1 = y'(ctg2\alpha + tg\alpha) + 0'0 \quad (2)$$

Промінь AB , що падає на сферичну поверхню (рис. 1) та відбитий BD від неї лежать в площині, що проходить крізь перпендикуляр до сфери в т. B (тобто радіус BO). Це означає, що ця площина проходить крізь пряму BA та центр сфери O .

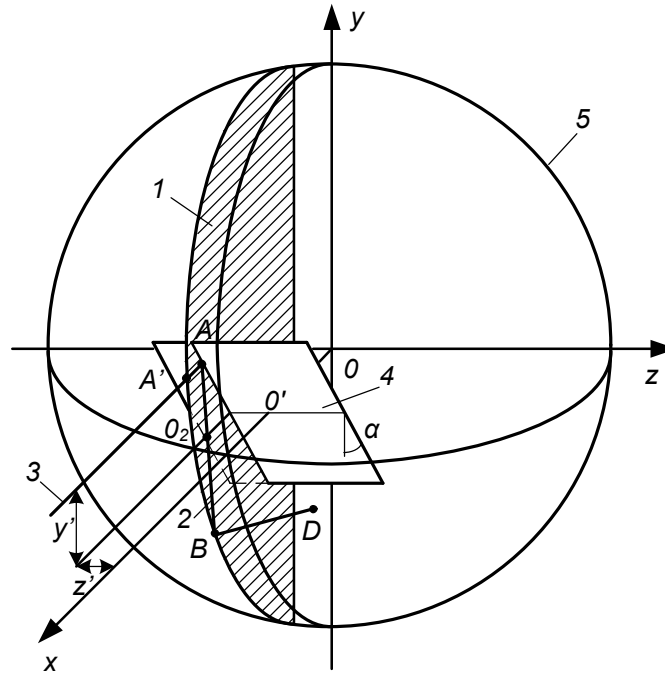


Рисунок 1 – Модель системи автокалібровки:

1 – площина падіння променя; 2 – перший відбитий промінь; 3 – вхідний промінь;
4 – поворотна віддзеркалююча пластина; 5 – сферична поворотна віддзеркалююча площина

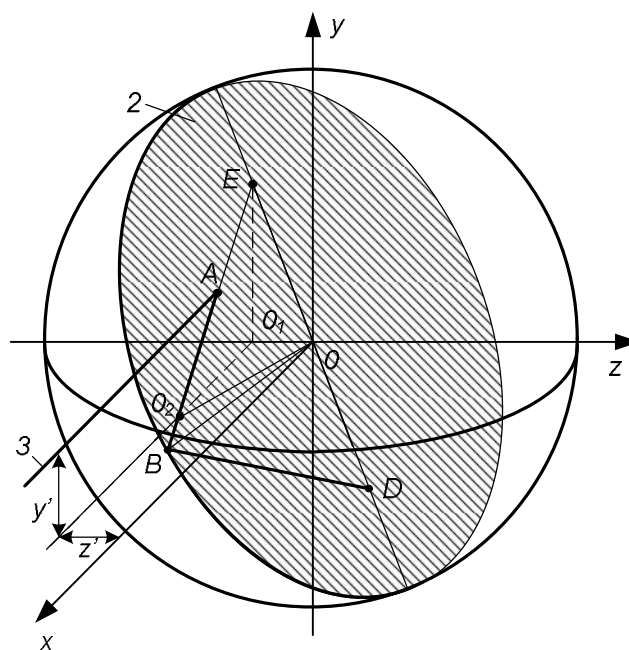


Рисунок 2 – Розташування площини (2)

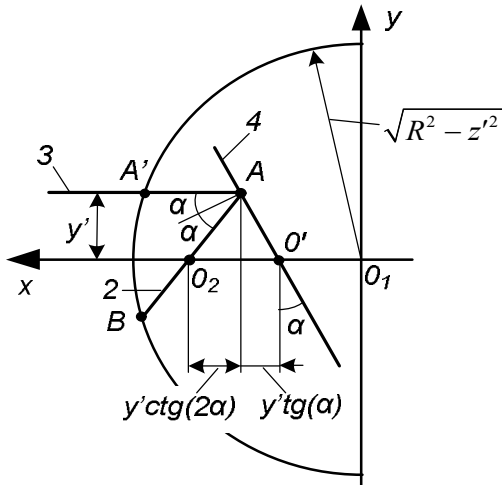


Рисунок 3 – Перетин сфери площиною (1)

Ця площина показана на рис. 3 позначена (2). Поворотна пластина на рис. 3 умовно не зображена. Лінія ED, що утворена схрещенням площин 2 та YOZ. На цій прямій і буде бажана точка D – падіння відбитого від сфери променя BD.

Якщо знайти рівняння прямих AB, BD та ED на даній площині, то можна перейти до пласкої моделі. Зобразимо більш детально фрагмент площини (2), що містить трикутник EO2O.

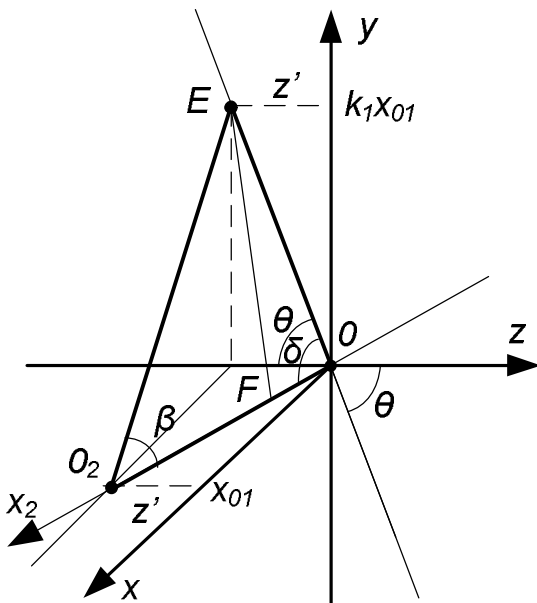


Рисунок 4 – Детальний фрагмент площини (2)

Згідно з рис. 2 сторони трикутника дорівнюють:

$$O_2E = \sqrt{x_{01}^2 + (k_1 x_{01})^2} \quad (3)$$

$$EO = \sqrt{(k_1 x_{01})^2 + z'^2} \quad (4)$$

$$O_2O = \sqrt{x_{01}^2 + z'^2} \quad (5)$$

де k_1 – раніше отриманий коефіцієнт нахилу першого відбитого променя, який відповідає коефіцієнту нахилу прямої EO_2 ; x_{01} – координата т. O_2 .

Проведемо висоту трикутника з вершини E на основу O_2O в точку F. При цьому отримуємо два прямокутних трикутника EO_2F і EOF .

Знайдемо довжини відрізків:

$$O_2F = \frac{O_2O^2 - EO^2 + EO_2^2}{2 \cdot O_2O} = \frac{x_{01}^2}{\sqrt{x_{01}^2 + z'^2}} \quad (6)$$

$$FO = \frac{O_2O^2 + EO^2 - EO_2^2}{2 \cdot O_2O} = \frac{z'^2}{\sqrt{x_{01}^2 + z'^2}} \quad (7)$$

Виразимо коефіцієнти нахилу прямих:

– для EO_2 в площині (2):

$$k_2 = \mp \operatorname{tg} \beta = \mp \frac{EF}{O_2F} = \mp \frac{\sqrt{O_2E^2 - O_2F^2}}{O_2F} = \mp \sqrt{\left(\frac{O_2E}{O_2F}\right)^2 - 1} = \mp \sqrt{\frac{(1+k_1^2)(x_{01}^2 + z'^2)}{x_{01}^2} - 1} \quad (8)$$

– для EO в площині (2):

$$k_3 = \pm \operatorname{tg} \delta = \pm \frac{EF}{FO} = \pm \frac{\sqrt{EO^2 - FO^2}}{FO} = \pm \sqrt{\left(\frac{EO}{FO}\right)^2 - 1} = \pm \sqrt{\frac{((k_1 x_{01})^2 + z'^2)(x_{01}^2 + z'^2)}{z'^4} - 1}, \quad (9)$$

– для EO в площині YOZ:

$$k_4 = \operatorname{tg} \theta = \frac{k_1 x_{01}}{z'} \quad (10)$$

При розрахунку k_2 і k_3 верхні знаки беруться при $\alpha < \frac{\pi}{4}$, а нижні – відповідно при $\alpha > \frac{\pi}{4}$. Граничне значення $\alpha = \frac{\pi}{4}$, при цьому k_2 і $k_3 \rightarrow \infty$ і прямі розташовуються вертикально.

Зобразимо вигляд площини (2) з необхідними прямими:

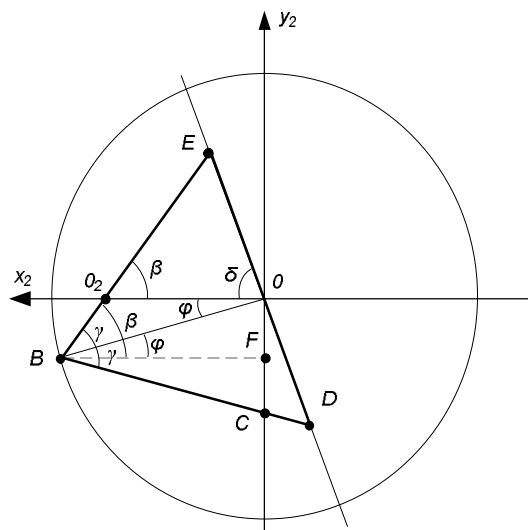


Рисунок 5 – Пласка модель

Рівняння прямої EB :

$$y_2 = k_2(x_2 - x_{02}) \quad (11)$$

де $x_{02} = O_2O = \sqrt{x_{01}^2 + z'^2}$ (рис. 3).

Знайдемо координати точки B як перетин прямої EB зі сферою:

$$\begin{cases} y_2 = k_2(x_2 - x_{02}), \\ x_2^2 + y_2^2 = R^2. \end{cases} \quad (12)$$

Звідки:

$$x_B = \frac{k_2^2 x_{02} \pm \sqrt{k_2^4 x_{02}^2 - (1 + k_2^2)(k_2^2 x_{02}^2 - R^2)}}{1 + k_2^2} \quad (13)$$

$$y_B = k_2(x_B - x_{02}) \quad (14)$$

Знак у виразі x_B визначається величиною кута α . Граничне значення $\alpha = \frac{\pi}{4}$, при цьому k_2 і $k_1 \rightarrow \infty$, а

$x_B = x_{02}$, тобто пряма розташовується вертикально. При $\alpha < \frac{\pi}{4}$ пряма має кут нахилу менше за $\frac{\pi}{2}$, тоді

$x_B > x_{02}$, що відповідає знаку «+» перед коренем у виразі для x_B . А знаку «-» відповідає $\alpha > \frac{\pi}{4}$.

Знайдемо коефіцієнти нахилу прямої BC , рівняння якої має вигляд:

$$y_2 = k_5(x_2 - x_B) - y_B \quad (15)$$

З рівності кутів $\angle O_2OB = \angle OBF = \varphi = \arctg \frac{y_B}{x_B}$ маємо

$\gamma = \beta - \varphi$, де $\beta = \arctg(k_2)$.

Тоді $\angle FBC = \gamma - \varphi = \beta - 2\varphi$ і коефіцієнт нахилу прямої BC :

$$k_5 = \tg(\beta - 2\varphi) = \tg\left(\arctg(k_2) - 2\arctg\left(\frac{y_B}{x_B}\right)\right) \quad (16)$$

Точка D знаходиться на перетині прямих BC і OD , тому її координати можна знайти як розв'язок системи рівнянь відповідних прямих:

$$\begin{cases} y_2 = k_3 x_2, \\ y_2 = k_5(x_2 - x_B) + y_B. \end{cases} \quad (17)$$

Звідки:

$$x_{2D} = \frac{y_B - k_5 x_B}{k_3 - k_5} \quad (18)$$

$$y_{2D} = k_3 x_{2D} \quad (19)$$

Перейдемо від площини (2) до початкових тривимірних координат. Так як точка D лежить в площині XOZ на прямій OD (рис. 3 і 4), то:

$$y_D = OD \cdot \sin\theta = \sqrt{x_{2D}^2 + y_{2D}^2} \sin(\arctg(k_4)) \quad (20)$$

$$z_D = OD \cdot \cos\theta = \sqrt{x_{2D}^2 + y_{2D}^2} \cos(\arctg(k_4)) \quad (21)$$

Остаточний алгоритм розрахунку можна представити у вигляді:

Вихідні данні: $\alpha, y', z', 0'0$.

Розрахунок:

$$k_1 = -\tg 2\alpha \quad (22)$$

$$x_{01} = y'(\ctg 2\alpha + \tg \alpha) + 0'0 \quad (23)$$

$$x_{02} = \sqrt{x_{01}^2 + z'^2} \quad (24)$$

$$k_3 = \pm \sqrt{\frac{((k_1 x_{01})^2 + z'^2)(x_{01}^2 + z'^2)}{z'^4}} - 1. \quad (25)$$

$$k_2 = \mp \sqrt{\frac{(1 + k_1^2)(x_{01}^2 + z'^2)}{x_{01}^2}} - 1 \quad (26)$$

$$k_4 = \frac{k_1 x_{01}}{z'} \quad (27)$$

$$x_B = \frac{k_2^2 x_{02} \pm \sqrt{k_2^4 x_{02}^2 - (1 + k_2^2)(k_2^2 x_{02}^2 - R^2)}}{1 + k_2^2} \quad (28)$$

$$y_B = k_2(x_B - x_{02}) \quad (29)$$

$$k_5 = \tg\left(\arctg(k_2) - 2\arctg\left(\frac{y_B}{x_B}\right)\right) \quad (30)$$

$$x_{2D} = \frac{y_B - k_5 x_B}{k_3 - k_5} \quad (31)$$

$$y_{2D} = k_3 x_{2D} \quad (32)$$

$$y_D = OD \cdot \sin\theta = \sqrt{x_{2D}^2 + y_{2D}^2} \sin(\arctg(k_4)) \quad (33)$$

$$z_D = OD \cdot \cos\theta = \sqrt{x_{2D}^2 + y_{2D}^2} \cos(\arctg(k_4)) \quad (34)$$

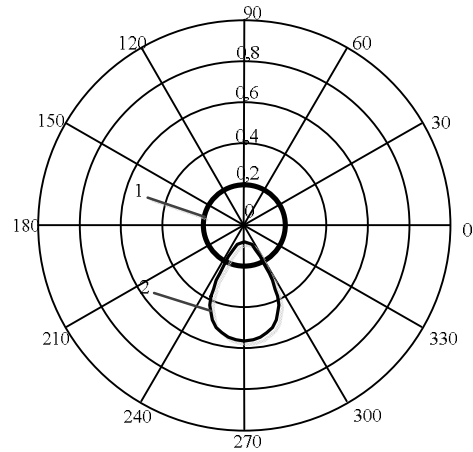


Рисунок 6 – Проекція кола (1) на приймальну площину (2) при нерухомій пластині

На рис. 7 зображені проекції точки A з умовними координатами $[0,1; 0,1]$ на приймальну площину при круговому обертанні поворотної пластини з різними кутами нахилу α останньої. При цьому радіус сферичної поверхні було прийнято за одиницю.

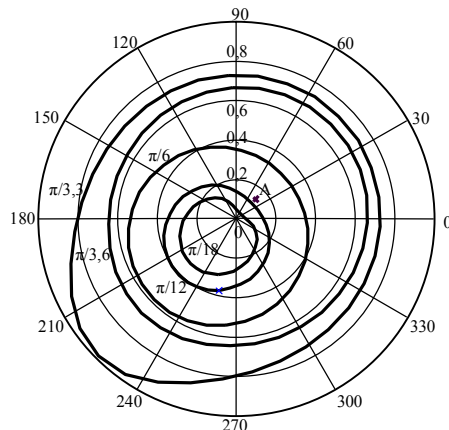


Рисунок 7 – Проекція точки A на приймальну площину

Як видно з рис. 7 при невеликих $\left(\alpha < \frac{\pi}{18}\right)$ та значних $\left(\alpha > \frac{\pi}{3,3}\right)$ кутах нахилу виникають небажані спотворення зображення на приймальній площині. Це призведе до додаткових ускладнень алгоритму при обробці зображення.

ВИСНОВКИ. Отримані співвідношення між координатами зображення та їх проекцією на фотоприймальну матрицю в системі автокалібровки з поворотною, віддзеркалюючою пластиною. Це є основою для встановлення придатності даної моделі для систем адаптивної корекції фотоприймальних матриць.

ЛІТЕРАТУРА

1. К проблеме выравнивания фоточувствительности приемных элементов в тепловизорах с многоэлементными матричными ИК-фотопреобразователями / В.М. Сапцин. – М., 1989. – 35 с.; препринт ФИАН № 72.
2. Численное моделирование и оптимизация модуляционной автокалібровки матричных ИК-преобразователей / В.М. Сапцин, В.Л. Ганжа. – М., 1993. – 48 с.; препринт АНК ИТМО АНБ № 7.

VIDEO PROCESSING SYSTEM MODELING WITH MULTIELEMENT RECEIVERS AND AUTOCALIBRATION PROCEDURE

V. Mospan, O. Yurko, S. Dombrowskij

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: kafea@kdu.edu.ua

In this paper a version of the autocalibration procedure implementation is presented. The research results reveal that autocalibration procedure allows testing and correction of PRE matrix of non-uniform sensitivity. The model suggested contains a movable reflecting surface, which allows the image to move in a circle along the surface of the photocell matrix. Using a mathematical algorithm it is possible to correct geometric noise in a maximal adaptation mode. It should be noted that the natural analogue of autocalibration procedure are visual systems of humans and higher mammals. To ascertain the suitability of the model suggested the correlation between the image coordinates and their projection on the photocell matrix are needed to be obtained, which allows identifying efficient range of tilt variation of the plate for minimizing distortion of the image projection.

Key words: photodetector element, autocalibration, scanning, geometric noise.

REFERENCES

1. Sapsin, V.M. (1989), *K probleme vyravnivaniya photochuvstvitel'nosti priemnykh elementov v teplovizorakh s mnogoelementnyimi matrichnyimi IK-fotopreobrazovateliami* [On the problem of alignment of the photosensitivity of receiving elements in the imager with multielement matrix infrared photoelectric converter], preprint FIAN, № 72, Moscow, Russia.
2. Sapsin, V.M., Ganja, V.L. (1993), *Chislennoe modelirovanie i optimizatsiya moduliatsionnoi avtokalibrovki matrichnykh IK-preobrazovateliami* [Numerical simulation and optimization of the modulation calibration of the matrix IR – converters], preprint ANK ITMO ANB, № 7, Moscow, Russia.
3. Sapsin, V.M., Liashenko, V.P. (2005), «Digital identification of the parameters of matrix transducers image», MPZIS, no. 6, pp. 158–159.
4. Sapsin, V.M., Liashenko, V.P. (2006), «Mathematical models and algorithms for discrete image converter», *Bulletin of Kherson National Technical University*, vol. 25, iss. 2, pp. 443–448, Kherson, Ukraine.
5. Sapsin, V.M., Mospan, V.A., Kirilenko, A.I. (2009), «The role of eye movements in the formation of images of human visual system», *proc. VIII All-Ukrainian sci.-tech. conf. «Physical processes and the field of technical and biological objects»*, no. 8, p. 255, KrNU, Kremenchuk, Ukraine.
6. Tikhonov, A.N., Arsenin, V.Y. (1986), *Metody resheniya hekorrektno postavlennykh zadach* [Solution methods for ill-posed problems], Nauka, Moscow, Russia.
7. Marchuk, G.I. (1977), *Metody vychislitel'noi matematiki* [Methods of computational mathematics], Nauka, Moscow, Russia.
8. Yaroslavsky, L.P. (1988), *Tsifrovaya obrabotka signalov v optike i golografii* [Digital signal processing in optics and holography], Radio and Communications, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 09.01.2013.