

**МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВІДРІЗКІВ ПРЯМИХ
ДОВІЛЬНОЇ ТОВЩИНИ НА СИНТЕТИЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ****МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ОТРЕЗКОВ ПРЯМЫХ
ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ НА СИНТЕТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ****METHOD OF DETECTION AND LOCALISATION OF PIECES
OF STRAIGHT LINES OF ANY THICKNESS ON SYNTHETIC IMAGES**

Анотація. Для виявлення на синтетичному зображенні графічних примітивів таких, як відрізки прямих довільної товщини, розроблено метод та алгоритм з використанням перетворення Хафа, який дозволяє не тільки виділити прямі та відрізки прямих довільної товщини, визначивши параметри ρ та θ , але і локалізувати їх на зображенні. Для апробації методу розроблено застосування, яке виявляє і локалізує прямі та відрізки прямих довільної товщини на синтетичних зображеннях, без використання процедур потоншення.

Аннотация. Для обнаружения на синтетическом изображении графических примитивов таких, как отрезки прямых произвольной толщины разработан метод и алгоритм с использованием преобразования Хафа, который позволяет не только выделить прямые и отрезки прямых произвольной толщины, определив параметры ρ и θ , но и локализовать их на изображении. Для апробации метода разработано приложение, которое обнаруживает и локализует прямые и отрезки прямых произвольной толщины на синтетических изображениях, без использования процедур уточнения.

Summary. For detection on the synthetic image of graphic primitive things such as pieces straight lines of any thickness, the method and algorithm, with use of Hough transform which allows not only to allocate straight lines and pieces of straight lines of any thickness is developed, having defined parameters ρ and θ but also to localized them on the image. For method approbation the application which finds out is developed and localizes straight lines and pieces of straight lines of any thickness on synthetic images, without use of procedures уточнения.

Перетворення Хафа [1 ... 4] широко використовується в задачах аналізу зображень для пошуку відрізків прямих, кіл та фігур, у принципі довільної форми, орієнтації і масштабу.

При використанні перетворення Хафа для аналізу реалістичних і синтетичних зображень виникає ряд проблем: вибір оптимального кроку дискретизації параметрів ρ і θ , вибір граничного значення для обмеження локальних максимумів акумуляторного масиву. Від правильності вибору цих параметрів залежатиме скільки прямих буде виявлено на зображенні, а також частка помилково виявлених прямих; складність алгоритму. Значна кількість дослідницьких праць спрямована на підвищення точності виявлення графічних примітивів [5, 6, 7, 8], зменшення обчислювальної складності [9, 10, 11, 12] та необхідних обсягів пам'яті [13, 14].

Практично всі методи й алгоритми засновані на перетворенні Хафа реалізують пряме перетворення, що дозволяє тільки установити наявність тих або інших графічних примітивів на зображенні та їхні параметри. Що ж стосується їхньої локалізації на зображенні, то необхідно використовувати обернене перетворення Хафа [15, 16], що суттєво збільшує витрати обчислювальних ресурсів. Запропоноване в [15] інверсне перетворення Хафа має значну обчислювальну складність та вимагає експериментального підбору параметрів, які обмежують кількість елементів акумуляторного масиву для визначення параметрів прямої лінії та точок на зображенні, що їй належать. Слід підкреслити, що практично всі існуючі методи, засновані на перетворенні Хафа, дають прийнятні результати тільки для однопіксельних ліній, тобто зображення повинно пройти попереднє оброблення з метою потоншення ліній, що додатково збільшує обчислювальну складність у цілому. Однак у літературі не описано застосування перетворення Хафа, що реалізує, як виявлення, так і локалізацію прямих довільної товщини без попереднього оброблення.

Тому метою даної роботи є розробка методу з використанням перетворення Хафа, що реалізує, як виявлення, так і локалізацію прямих довільної товщини, без попереднього оброблення

зображення, що дозволить не тільки визначити параметри прямих, а також виявити положення цих прямих на зображенні.

Ідея перетворення Хафа полягає у визначенні параметрів ρ , θ плоских прямих, які можуть бути на зображенні, з використанням рівняння [1, 2]:

$$\rho = x_i \cdot \cos(\theta) + y_i \cdot \sin(\theta), \quad (1)$$

де ρ – довжина перпендикуляра опущеного на пряму з початку координат; θ – кут між перпендикуляром до прямої і віссю ОХ.

Для того щоб визначити параметри ρ , θ прямої використовується акумуляторний масив C_{ij} [3]. Цей масив формується наступним чином. Оскільки координати пікселів зображення визначаються з урахуванням того, що початок координат розташований у його верхньому лівому куті, то тоді параметри ρ , θ будуть набувати значення з діапазонів [3] $\theta \in [-90^\circ, 180^\circ]$, $\rho \in [\rho_{\min}, \rho_{\max}]$. Зазвичай вважають, що $\rho_{\min} = 0$, а $\rho_{\max} = \sqrt{2}N$ (тут N – найбільший бік зображення). Далі обираються кроки дискретизації $\Delta\rho$, $\Delta\theta$ і простір Хафа розбивається на дискретні елементи. Кожному такому елементу ставиться у відповідність елемент C_{ij} . Для кожної точки (x_k, y_k) прямої обчислюємо згідно з (1) значення $\bar{\rho}_i \quad \forall \theta_j \in [-90^\circ, 180^\circ]$. Якщо при цьому для даного θ_j $\bar{\rho}_i \in [\rho_i, \rho_{i+1}]$, то значення елемента C_{ij} збільшується на одиницю. Після того, як будуть оброблені всі точки прямої, її параметри будуть визначатись максимальним елементом масиву C .

У запропонованому методі на відміну від [15, 16], для визначення розмірності акумуляторного масиву та кроку дискретизації, коефіцієнти масштабу визначаються зі співвідношень:

$$S_\rho = E \left[\frac{k \cdot (I_B + I_{III})}{I_B} \right], \quad (2)$$

$$S_\theta = E \left[\frac{k \cdot (I_B + I_{III})}{I_{III}} \right], \quad (3)$$

де I_B , I_{III} – висота та ширина зображення відповідно; k – коефіцієнт, який розраховується за формулою:

$$k = E \left[\sqrt{D - \max(I_B, I_{III})} \right], \quad (4)$$

де D – значення діагоналі зображення: $D = \sqrt{I_B^2 + I_{III}^2}$; $E(\bullet)$ – функція, яка дає найближче ціле число.

На підставі коефіцієнтів S_ρ та S_θ визначаються: розмірність акумуляторного масиву

$$I_\rho = S_\rho + 1, \quad (5)$$

$$J_\theta = S_\theta + 1 \quad (6)$$

та кроки дискретизації $\Delta\theta$, $\Delta\rho$

$$\Delta\theta = \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot S_\theta}, \quad (7)$$

$$\Delta\rho = \frac{\sqrt{2} \cdot N}{S_\rho}. \quad (8)$$

Індекси $\tilde{\theta}$ й $\tilde{\rho}$ акумуляторного масиву $C(\tilde{\rho}, \tilde{\theta})$ визначають зі співвідношень

$$\tilde{\theta} = E \left(\frac{\theta}{\Delta\theta} \right), \quad (12)$$

$$\tilde{\rho} = E \left(\frac{\rho}{\Delta\rho} \right). \quad (13)$$

При формуванні акумуляторного масиву $C(\tilde{\rho}, \tilde{\theta})$, кожному елементу з параметрами $\tilde{\rho}$, $\tilde{\theta}$ окрім кількості точок $n = \{n_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}} : C(\tilde{\rho}, \tilde{\theta}) = n_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}\}$, ставиться у відповідність множина $X = \{X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}} : X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}} \in C(\tilde{\rho}, \tilde{\theta})\}$, елементи якої – це координати точок, що належать прямим на зображенні. Крім того, при формуванні акумуляторного масиву підраховується кількість виявлених точок Z .

Для аналізу X та виявлення і локалізації прямих, необхідно провести сортування всіх не порожніх множин $X = \{X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i : X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i \neq \emptyset\}$ акумуляторного масиву в порядку зростання $n_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i$. та обчислити величину $n_{\Sigma} = \sum n_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i$. Аналіз X потужності K здійснюється з урахуванням того факту, що чим менше потужність $X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i$, тим менше ймовірність того, що у цій множині містяться координати окремої прямої, тобто скоріше всього це точки прямої, яка міститься у множині з більшою потужністю. Якщо виявити всі такі множини, то в кінцевому рахунку отримаємо таку підмножину $\tilde{X} \subset X$, компоненти якої $\tilde{X}_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}$ містять координати окремих прямих.

Розглянемо більш детально процедуру аналізу акумуляторного масиву з метою локалізації прямих. Згідно з вищенаведеним потужність множини $X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1$ є найменшою, тобто $n_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1 = \min(n_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i)$. Для множин $X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i \in X / X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1$ у порядку зростання потужності знаходимо множину $d = X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i \cap X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1$. Якщо для деякого $j \in [2, K]$ $d \neq \emptyset$, то з множини $X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1$ вилучаємо множину координат точок d , тобто $X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1 = X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1 / d$. При цьому зменшуємо n_{Σ} на величину потужності n_d множини d . Цю процедуру продовжуємо для множин $X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i, i < j$ до тих пір, поки не отримаємо пусту множину $X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1$. Серед множин $X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^i \in X / X_{\tilde{\rho}, \tilde{\theta}}^1$ обираємо множину з найменшою потужністю та вилучаємо з неї координати точок, які є в множинах з більшою потужністю. При цьому, коли n_{Σ} буде дорівнювати Z , залишаться лише ті множини, які містять координати точок окремих прямих. Такий метод аналізу множини X дозволяє без використання емпіричних граничних значень T , що обмежують множину екстремумів акумуляторного масиву, виявити та локалізувати всі прямі на зображенні.

При такому підході обчислювальна складність алгоритму визначається як $O(M \times N_p)$, де N_p – загальна кількість точок, що належать прямим на зображенні; M – кількість елементів акумуляторного масиву.

На підставі запропонованого методу за допомогою Delphi 7 розроблена програма пошуку і локалізації прямих на синтетичних зображеннях. Зображення мали, як однопіксельні прямі, так і прямі товщиною більше одного пікселя.

На рис. 1 наведено зображення розміром 256 x 256 пікселів, яке містить декілька однопіксельних прямих.

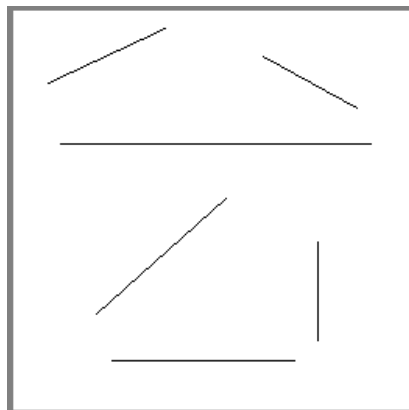


Рисунок 1 – Синтетичне зображення з однопіксельними прямими

Після оброблення й аналізу цього зображення знайдені всі прямі, а також визначено їх положення на зображенні. При обробленні даного зображення отримані наступні значення коефіцієнтів масштабу $S_p = 20$, $S_0 = 20$, кроку дискретизації $\Delta\rho = 18,102$, $\Delta\theta = 0,236$, а акумуляторний масив має розмірність $I_p = 21$, $J_0 = 21$. При цьому обчислювальна складність складала за порядком величини 10^5 , а тривалість виконання пошуку локалізації прямих – 1,3 с.

На рис. 2 наведена гістограма акумуляторного масиву простору Хафа, отримана після оброблення зображення на рис. 1, а на рис. 3 – після аналізу. Для побудови гістограм використовувалося програмне забезпечення 3D Grapher.

Як впливає з отриманих та наведених на рис. 3 результатів, на зображенні виявлені і локалізовані тільки шість прямих без втрати точок, що їм належать.

Результат локалізації прямих наведений на рис. 4.

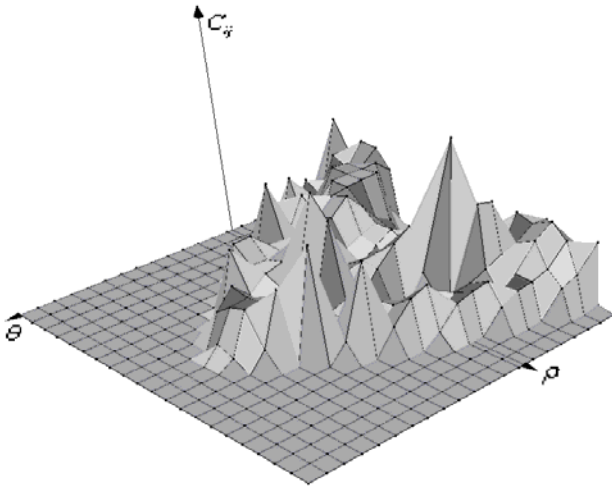


Рисунок 2 – Акумуляторний масив простору Хафа після оброблення зображення

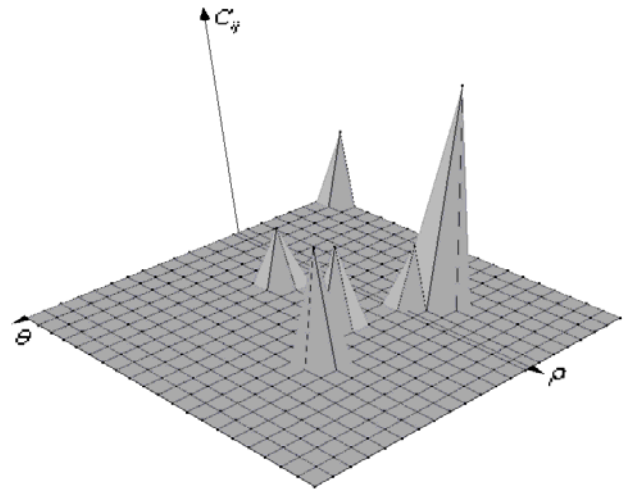


Рисунок 3 – Акумуляторний масив простору Хафа після аналізу

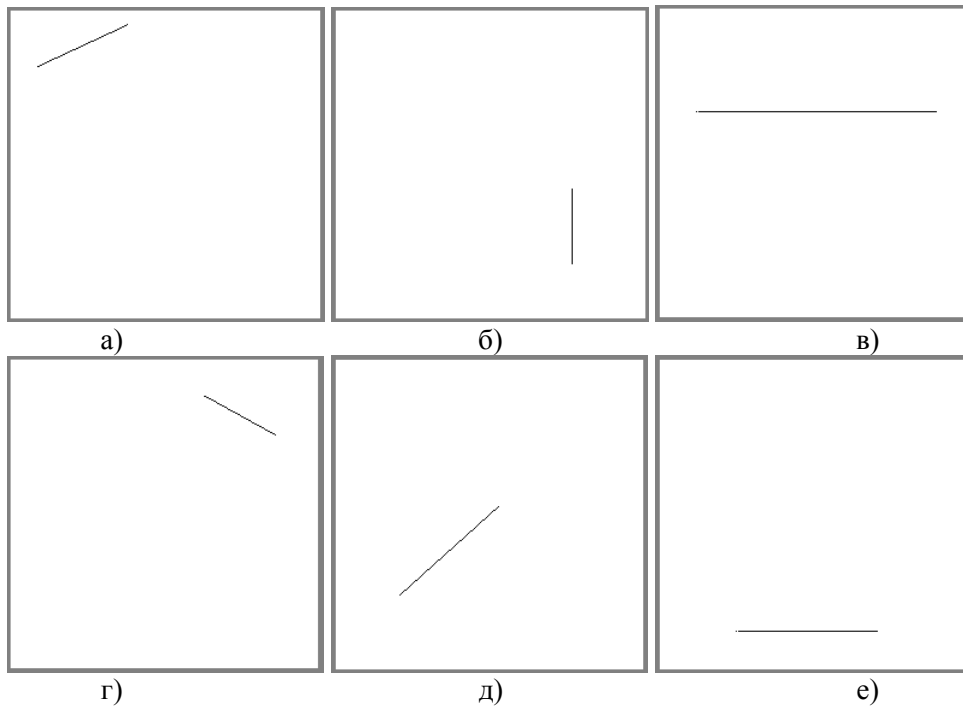


Рисунок 4 – Локалізовані прямі (а) – (е), їх місцеположення на зображенні

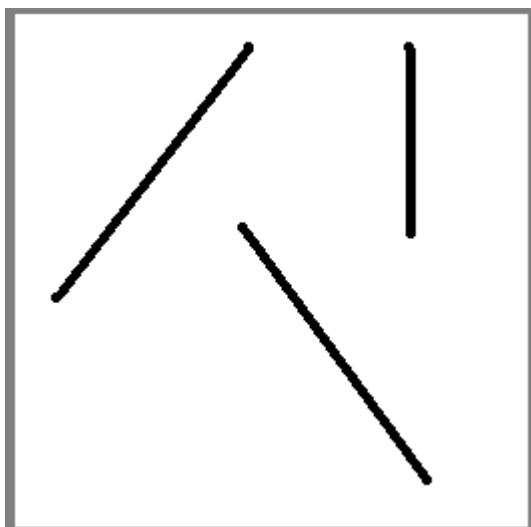


Рисунок 5 – Синтетичне зображення 256×256 з прямими завтовшки в чотири пікселі

На рис. 5 наведено зображення розміром 256×256 пікселів, яке містить три прямі завтовшки в чотири пікселі.

Після оброблення й аналізу даного зображення знайдені всі прямі, а також визначено їх місцеположення на зображенні. Оскільки зображення такої ж розмірності, як і в попередньому прикладі, то всі розраховані параметри залишаються незмінними. Тривалість виконання пошуку та локалізації прямих складала 14 с.

На рис. 6 наведений акумуляторний масив простору Хафа, отриманий після оброблення зображення на рис. 5, а на рис. 7 – після аналізу.

Як впливає з отриманих результатів, на зображенні виявлені і локалізовані тільки три прямі, завтовшки чотири пікселі, без втрати точок, що належать цим прямим. Тоді, як у звичайному перетворенні Хафа отримали б пучок прямих, для якого необхідно було б розробляти додаткові методи аналізу і локалізації таких прямих.

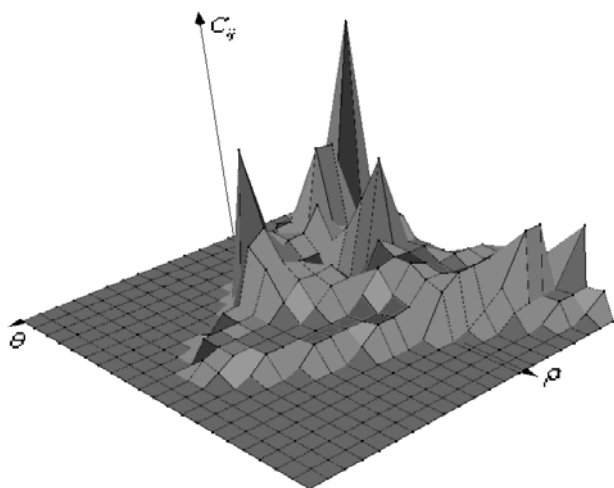


Рисунок 6 – Акумуляторний масив простору Хафа після оброблення зображення

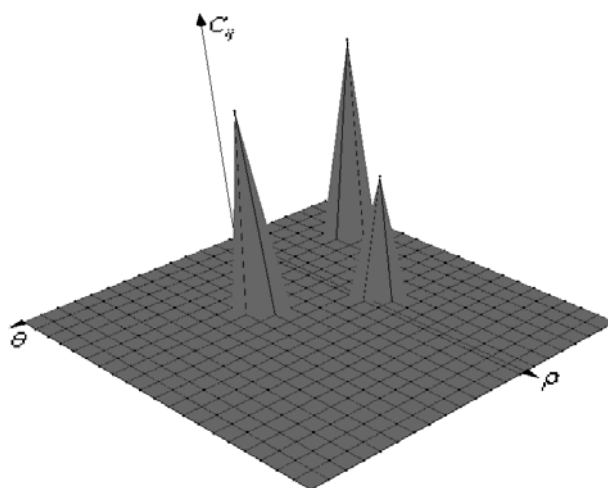


Рисунок 7 – Акумуляторний масив простору Хафа після аналізу

Результат локалізації прямих наведений на рис. 8.

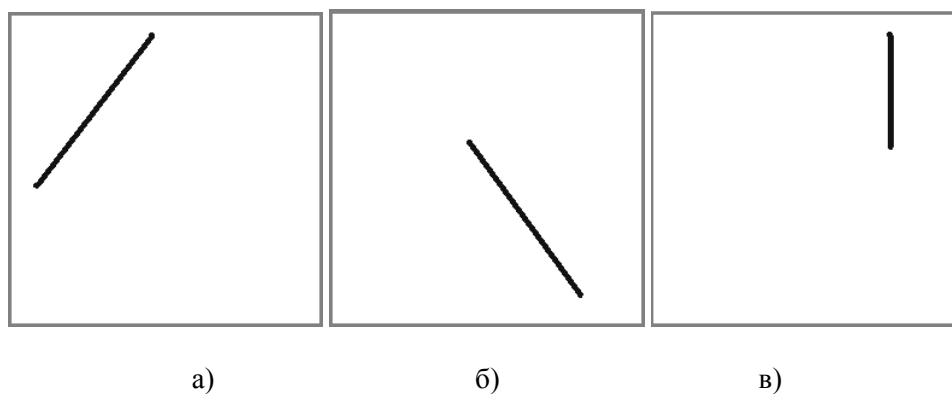


Рисунок 8 – Локалізовані прямі (а) – (в), їх місцеположення на зображенні

У цілому було оброблено 100 синтетичних зображень. В усіх випадках прямі були безпомилково виділені та локалізовані. При цьому тривалість виділення та локалізації однопиксельних прямих, в залежності від їх кількості на зображенні, змінювалась у діапазоні від 1 до 15 с. В той час як при виконанні лише зворотного перетворення Хафа [16], тривалість оброблення зображення змінювалась у діапазоні від 4 до 52 с.

Виходячи з вище викладеного, можна зробити висновки:

- розроблений метод дозволяє безпосередньо локалізувати всі прямі на синтетичному зображенні;
- виявлення та локалізація прямих здійснюється без використання емпіричних параметрів;
- метод дозволяє виявити і локалізувати не тільки однопиксельні прямі, а й прямі довільної товщини;
- складність алгоритму менша ніж у сьогодні існуючих та визначається переважно кількістю точок, що належать прямим, які є на зображенні.

Література

1. *Hough V.* Machine analysis of bubble chamber pictures / V. Hough, C. Paul // In International Conference on High Energy Accelerators and Instrumentation. – CERN, Geneva, Switzerland. – 1959. – P. 554-556.
2. *Patent 3069654* United States, Methods and Means for Recognizing Complex Patterns / V. Hough, C. Paul. – Dec. 18, 1962.
3. *Duda R.O.* Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures / R.O. Duda, P.E. Hart // Comm. ACM. – 1972. – Vol. 15. – № 1. – P. 11-15.
4. *Ballard D.H.* Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes / D.H. Ballard // Pattern Recognition. – 1981. – Vol. 13. – P. 111-122.
5. *Van Veen T.* Discretisation Errors in Hough Transform / T. Van Veen, F. Groen // Pattern Recognition. – 1981. – Vol. 14. – P. 137-145.
6. *Niblack W.* On Improving the Accuracy of the Hough Transform: Theory, Simulations and Experiments // Proc IEEE CS Conf / W. Niblack, D. Petrovic – Computer Vision and Pattern Recognition. – 1988. – P. 574-579.
7. *Illingworth J.* The Adaptive Hough Transform / J. Illingworth, J. Kittler // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1987. – Vol. 9. – P. 690-698.
8. *Palmer P.* Using Focus of Attention with the Hough Transform for Accurate Line Parameter Estimation / Palmer P., Kittler J., Petrou M. // Pattern Recognition. – 1994. – Vol. 27. – P. 1, 127-1, 134.
9. *Kiryati N.* A Probabilistic Hough Transform / N. Kiryati, Y. Eldar, A.M. Bruckstein // Pattern Recognition. – 1991. – Vol. 24. – P. 303-316.
10. *Xu L.* A New Curve Detection Method: Randomized Hough Transform / L. Xu, E. Oja, P. Kultanen // Pattern Recognition Letters. – 1990. – Vol. 11. – P. 331-338.
11. *Gatos B.* Papamarkos Accelerated Hough Transform Using Rectangular Image Decomposition / Gatos B., Perantonis S.J., Papamarkos N. // Electronics Letters. – 1996. – Vol. 32. – № 8. – P. 730-732.
12. *Perantonis S.J.* Block Decomposition and Segmentation for Fast Hough Transform Evaluation / Perantonis S.J., Gatos B., Papamarkos N. // Pattern Recognition. – 1999. – Vol. 32. – № 5. – P. 811-824.
13. *Ben-Tzvi D.* Dynamic Combinatorial Hough Transform / Ben-Tzvi D., Leavers V.F., Sandler M.B. // Proc.: Fifth Int'l Conf. Image Analysis. – 1990. – P. 152-159.
14. *Zhang Y.* A Windowing Approach to Detecting Line Segments Using Hough Transform / Y. Zhang, R. Webber // Pattern Recognition. – 1996. – Vol. 29. – P. 255-265.
15. *Kesidis A.L.* A window based inverse Hough transform / A.L. Kesidis, N. Papamarkos // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1999. – Vol. 21. – № 12.
16. *Kesidis A.L.* On the gray-scale inverse Hough transform / A.L. Kesidis, N. Papamarkos // Image and Vision Computing. – 2000. – Vol. 18. – № 8. – P. 607-618.