

References

1. S.V. Bevez, T.V. Savalchuk, A.M. Sliusar. Klasyfikatsiia ta porivnialnyi analiz zasobiv realizatsii suchasnykh ihrovyykh proqram. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical science. Khmelnytsky. 2011. Volume 176. Issue 1. pp. 238-242. [in Ukrainian]
2. Osnovy` razrabotki komp`yuterny`x igr [Elektronnyi resurs]: Intuit.ru – Razrabotka komp`yuterny`x igr dlya Windows Phone 7 s ispol`zovaniem texnologij Silverlight i XNA – Rezhym dostupu: <http://www.intuit.ru/studies/courses/3725/967/lecture/8824/page=2>.
3. Novaya klassifikaciya komp`yuterny`x igr [Elektronnyi resurs]: Psystat.at.ua – Statistika v psixologii i pedagogike – Rezhym dostupu: <http://psystat.at.ua/publ/4-1-0-30>.
4. Realizaciya programm obucheniya na osnove videoigr [Elektronnyi resurs]: Zillion.net – Igrы` & Obuchenie – Rezhym dostupu: <http://zillion.net/ru/blog/237/realizatsiia-proghramm-obucheniia-na-osnovie-videoighr>.
5. Gee, J. P. What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy. / J. P. Gee – New York: Palgrave Macmillan. ISBN 978-1-4039-6538-7

Рецензія/Peer review : 28.9.2013 р. Надрукована/Printed :24.11.2013 р.
Рецензент: Перевозніков С.І., д.т.н.

УДК 004.3:004.891.3

Ю.П. КЛЮЦ, А.О. ГРИЩУК
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУЛЬОК НА ЗОБРАЖЕННІ ПІНИ

В статті представлено модель процесу визначення геометричних характеристик бульок на зображенні піни, що дозволяє в режимі реального часу підрахувати кількість та визначити геометричні характеристики бульок на зображенні піни, отриманій за допомогою web-камери, змонтованої на мікроскопі. Модель представлена у вигляді послідовності перетворень зображення піни, в результаті якого ідентифікуються бульки на зображенні піни та визначаються їх діаметри. Перетворення передбачають виконання матричних операцій згладжування та визначення границь об'єктів над матрицею зображення. Достовірність визначення кількості та діаметрів бульок, оцінена за допомогою критерію χ^2 , складає 86,3%. Це дозволяє відмовитись від ручного визначення геометричних характеристик піни і автоматизувати процес її аналізу.

Ключові слова: піна, булька, камера, мікроскоп, модель процесу, перетворення зображення.

Y.P. KLOTS, A.O. GRISCHUK
Khmelnytsky National University

PROCESS MODEL FOR THE GEOMETRICAL CHARACTERISTICS DETERMINING OF THE BUBBLES ON THE FOAM IMAGE

Abstract. This paper presents a process model for the geometric characteristics determining of the bubbles on the foam image, allowing real-time count and determine geometric characteristics of the foam bubbles on the image obtained using the web-camera mounted on the microscope. The model is represented as a sequence of transformations the image foam, in which bubbles are identified in the image foams and determined their diameters. Transformations perform matrix operations include smoothing and defining the boundaries of objects on the image matrix. The reliability of determining the number and diameters of bubbles, estimated by χ^2 test is 86.3%. This allows you to give up manually determine the geometrical characteristics of the foam bubbles and automate the process of foam analysis.

Keywords: foam, bubble, camera, microscope, process model, image conversion.

Вступ

Спінені композиції все більше застосовуються на виробництві та в побуті. Це, в свою чергу, вимагає якісних змін процесу підбору таких композицій. Тривалий час аналізу результатів підбору піни ускладнює вибір якісної композиції з необхідними властивостями.

Попередньо розроблені моделі представлення піни орієнтовані на ручний підрахунок кількості та визначення розмірів бульок піни.

Запропонована в [1] система ідентифікації бульок на зображенні піни, що використовує представлений в [2] метод ідентифікації бульок піни на зображеннях вимагає розроблення нової моделі обробки даних.

Постановка задачі. Для вирішення задачі визначення характеристик піни необхідно розробити модель процесу визначення геометричних характеристик бульок піни, що дозволяє використання в режимі реального часу.

Модель процесу визначення геометричних характеристик бульок піни

Введемо позначення $\longrightarrow$, що задає відношення між трьома поняттями, а саме: $M_1 \xrightarrow{S} M_2$, де M_1, M_2 – початкова та перетворена моделі відповідно, S – функція перетворення моделі.

Представимо модель процесу визначення геометричних характеристик бульок на зображенні піни у вигляді послідовності перетворень зображення піни:

$$M = Mk \xrightarrow{S_1} Mms \xrightarrow{S_2} Ms \xrightarrow{S_3} Mf \xrightarrow{S_4} Mb \xrightarrow{S_5} Mz \xrightarrow{S_6} Mc \xrightarrow{S_7} Mv \xrightarrow{S_8} Mp \quad (1)$$

Подано модель кольорового зображення піни у вигляді $Mk = \langle V \rangle$, де V – матриця пікселів кольорового зображення.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n'} \\ v_{21} & \dots & v_{2n'} \\ & & v_{ij} \\ v_{k'1} & \dots & v_{k'n'} \end{bmatrix},$$

де n', k' – відповідно ширина та висота, отриманого, з камери зображення в пікселях, v_{ij} – трикомпонентний вектор, що описує колір пікселя з координатами $i = \overline{1, k'}$, $j = \overline{1, n'}$. Кожен компонент вектора визначає інтенсивність однієї з трьох складових кольору, червону, зелену, синю.

$v_{ij} = [r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}]$, де r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} – значення інтенсивності відповідно червоної, зеленої та синьої складових кольору пікселя початкового зображення.

З метою раціонального використання потужностей обчислювальної системи доцільно провести масштабування зображення.

Подано модель масштабованого кольорового зображення у вигляді $Mms = \langle H \rangle$, де H – матриця пікселів кольорового масштабованого зображення.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & \dots & h_{2n} \\ & & h_{ij} \\ h_{k1} & \dots & h_{kn} \end{bmatrix},$$

де n, k – відповідно ширина та висота зображення в пікселях, h_{ij} – трикомпонентний вектор, що описує колір пікселя з координатами i, j . Кожен компонент вектора визначає інтенсивність однієї з трьох складових кольору, червону, зелену, синю.

$h_{ij} = [r_{ij}^h, g_{ij}^h, b_{ij}^h]$, де $r_{ij}^h, g_{ij}^h, b_{ij}^h$ – значення інтенсивності відповідно червоної, зеленої та синьої складових кольору пікселя масштабованого зображення.

Модель процесу масштабування кольорового зображення подамо у вигляді $Mk \xrightarrow{S_1} Mms$, де S_1 – функція перетворення.

Визначимо S_1 як $r_{ij}^h = \left(\sum_{m=\lfloor i/k_m \rfloor}^{\lfloor (i+1)/k_m \rfloor} \sum_{l=\lfloor j/k_m \rfloor}^{\lfloor (j+1)/k_m \rfloor} r_{m,l} \right) \times [k_m]^2$, $g_{ij}^h = \left(\sum_{m=\lfloor i/k_m \rfloor}^{\lfloor (i+1)/k_m \rfloor} \sum_{l=\lfloor j/k_m \rfloor}^{\lfloor (j+1)/k_m \rfloor} g_{m,l} \right) \times [k_m]^2$, $b_{ij}^h = \left(\sum_{m=\lfloor i/k_m \rfloor}^{\lfloor (i+1)/k_m \rfloor} \sum_{l=\lfloor j/k_m \rfloor}^{\lfloor (j+1)/k_m \rfloor} b_{m,l} \right) \times [k_m]^2$, де $[r_{ml}, g_{ml}, b_{ml}] \in V$ – пікселі початкового кольорового зображення, $[r_{ij}^h, g_{ij}^h, b_{ij}^h] \in H$ – пікселі масштабованого кольорового зображення.

Проведення аналізу зображення з метою виявлення на ньому об'єктів вимагає використання монохромного зображення.

Модель зображення в тонах сірого представимо у вигляді $Ms = \langle O \rangle$, де O – матриця пікселів зображення в тонах сірого.

$$O = \begin{bmatrix} o_{11} & \dots & o_{1n'} \\ o_{21} & \dots & o_{2n'} \\ & & o_{ij} \\ o_{k'1} & \dots & o_{k'n'} \end{bmatrix},$$

де o_{ij} – значення інтенсивності білого кольору пікселя з координатами i, j .

Модель процесу перетворення кольорового зображення в тони сірого подамо у вигляді $Mms \xrightarrow{S_2} Ms$, де S_2 – функція перетворення.

Визначимо S_2 як $o_{ij} = r_{ij} \cdot k_r + g_{ij} \cdot k_g + b_{ij} \cdot k_b$, де $k_r = 0.2989$, $k_g = 0.5870$, $k_b = 0.1141$ – стандартні вагові коефіцієнти впливу спектральних складових кольору відповідно червоний, зелений, синій.

Для покращення якості визначення меж бульок необхідно вирівняти освітленість зображення, що досягається шляхом формування фоновому зображення та віднімання його від основного зображення.

Представимо модель фону зображення у вигляді $Mf = \langle F \rangle$, де F – матриця пікселів фону зображення.

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & \dots & f_{2n} \\ & f_{ij} & \\ f_{k1} & \dots & f_{kn} \end{bmatrix},$$

де f_{ij} – значення інтенсивності пікселя фонового зображення з координатами i, j .

Модель процесу побудови фонового зображення подамо у вигляді $Ms \xrightarrow{S_3} Mf$, де S_3 – функція перетворення.

Визначимо S_3 як

$$f_{ij} = \frac{\left(\sum_{m=i-\lfloor k_f/2 \rfloor}^{i+\lfloor k_f/2 \rfloor} \sum_{l=j-\lfloor k_f/2 \rfloor}^{j+\lfloor k_f/2 \rfloor} o_{m,l} \right)}{k_f^2},$$

де k_f – розмір маски фонового зображення, який повинен бути непарним і складати 10 – 20% мінімального розміру зображення.

Представимо модель зображення без фону у вигляді $Mb = \langle B \rangle$, де B – матриця пікселів зображення без фону.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & \dots & b_{2n} \\ & b_{ij} & \\ b_{k1} & \dots & b_{kn} \end{bmatrix},$$

де b_{ij} – значення інтенсивності пікселя зображення без фону з координатами i, j .

Модель процесу віднімання фону від зображення в тонах сірого подамо у вигляді $Ms, Mf \xrightarrow{S_4} Mb$, де S_4 – функція перетворення.

Визначимо S_4 як $b_{ij} = \begin{cases} o_{ij} - f_{ij}, & \text{якщо } o_{ij} > f_{ij} \\ 0, & \text{якщо } o_{ij} \leq f_{ij} \end{cases}$, де o_{ij} – значення інтенсивності білого кольору пікселя з

координатами i, j , f_{ij} – значення інтенсивності пікселя фонового зображення з координатами i, j .

Використання методів контурного аналізу передбачає попереднє згладжування зображення. З цією метою використаємо фільтр Гауса.

Для побудови маски Гауса визначимо функцію Гауса:

$f_g(x, y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\delta^2}}$, де x, y – координати точки відносно центра матриці, δ – середньоквадратичне відхилення розподілу Гауса.

На основі функції Гауса побудуємо маску Гауса:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & \dots & m_{1y} \\ m_{21} & \dots & m_{2y} \\ & m_{ij} & \\ m_{x1} & \dots & m_{xy} \end{bmatrix},$$

де m_{ij} – нормована вага пікселя зображення з координатами i, j , x, y – розмір маски.

$$m_{ij} = \frac{f_g(r, c)}{\sum_{r=1}^x \sum_{c=1}^y f_g(r, c)}$$

Представимо модель згладженого зображення у вигляді $Mz = \langle Z \rangle$, де Z – матриця пікселів згладженого зображення.

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & \dots & z_{2n} \\ & z_{ij} & \\ z_{k1} & \dots & z_{kn} \end{bmatrix},$$

де z_{ij} – значення інтенсивності пікселя згладженого зображення з координатами i, j .

Модель процесу згладжування зображення подамо у вигляді $Mb \xrightarrow{S_5} Mz$, де S_5 – функція перетворення.

Визначимо S_5 як:

$$z_{ij} = \sum_{r=(1-x)/2}^{(x-1)/2} \sum_{c=(1-y)/2}^{(y-1)/2} b_{(i+r)(j+c)} \times m_{rc}, \text{ де } z_{ij} - \text{значення пікселя згладженого зображення з координатами } i, j,$$

$b_{(i+r)(j+c)}$ – значення пікселя зображення без фону з координатами $i+r, j+c$, m_{rc} – значення пікселя маски з координатами r, c , x, y – розмір маски.

Представимо контурну модель піни у вигляді $Mc = \langle C \rangle$, де C – матриця пікселів зображення, що позначають контури бульок піни.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & \dots & c_{2n} \\ & c_{ij} & \\ c_{k1} & \dots & c_{kn} \end{bmatrix},$$

де c_{ij} – ознака належності пікселя з координатами i, j контуру бульок піни.

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо піксель з координатами } i, j \text{ належить контуру піни} \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

Знаходження контурів бульок реалізуємо до допомогою детектора границь Канні. З цією метою використаємо пару стандартних масок оператора Собеля, що дозволяють визначити градієнт зображення піни.

$$Mx = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \quad My = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Визначимо в кожній точці Mz значення градієнтів зображення по осям x та y .

Позначимо Gx та Gy матриці відповідних градієнтів.

$$Gx = \begin{bmatrix} g_{11}^x & \dots & g_{1n}^x \\ g_{21}^x & \dots & g_{2n}^x \\ & g_{ij}^x & \\ g_{k1}^x & \dots & g_{kn}^x \end{bmatrix}, \quad Gy = \begin{bmatrix} g_{11}^y & \dots & g_{1n}^y \\ g_{21}^y & \dots & g_{2n}^y \\ & g_{ij}^y & \\ g_{k1}^y & \dots & g_{kn}^y \end{bmatrix},$$

де g_{ij}^x, g_{ij}^y – значення градієнтів по відповідних осям для пікселя з координатами i, j .

$$g_{ij}^x = \sum_{r=-1}^1 \sum_{c=-1}^1 z_{(i+r)(j+c)} \times m_{rc}^x, \quad g_{ij}^y = \sum_{r=-1}^1 \sum_{c=-1}^1 z_{(i+r)(j+c)} \times m_{rc}^y, \text{ де } m_{rc}^x, m_{rc}^y - \text{відповідних елементів масок } Mx, My.$$

Визначимо значення модуля градієнта для кожної точки Mz .

Позначимо G матриці абсолютних значень градієнта.

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & \dots & g_{2n} \\ & g_{ij} & \\ g_{k1} & \dots & g_{kn} \end{bmatrix},$$

де g_{ij} – абсолютне значення градієнта для пікселя з координатами i, j .

$$g_{ij} = \begin{cases} |g_{ij}^x| + |g_{ij}^y|, & \text{якщо } |g_{ij}^x| + |g_{ij}^y| \geq \min \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}, \text{ де } \min - \text{значення мінімального порогу детектора границь}$$

Канні.

З метою визначення напрямку границі бульки розрахуємо кут її нахилу. Позначимо Θ матрицю розрахованих кутів нахилу контурів.

$$\Theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \dots & \theta_{1n} \\ \theta_{21} & \dots & \theta_{2n} \\ & \theta_{ij} & \\ \theta_{k1} & \dots & \theta_{kn} \end{bmatrix},$$

де θ_{ij} – кут нахилу границі для пікселя з координатами i, j .

Визначимо значення θ_{ij} , для цього порахуємо значення кута.

$$\alpha_{ij} = \arctg\left(\frac{g_{ij}^x}{g_{ij}^y}\right) \cdot \theta_{ij} = \begin{cases} 45, & \text{якщо } 22,5 \leq \alpha_{ij} < 67,5 \\ 90, & \text{якщо } 67,5 \leq \alpha_{ij} < 112,5 \\ 135, & \text{якщо } 112,5 \leq \alpha_{ij} < 157,5 \\ 0, & \text{при інших значеннях } \alpha_{ij} \end{cases}$$

Модель процесу знаходження контурів бульок на зображенні піни представимо у вигляді $Mz \xrightarrow{S_6} Mc$, де S_6 – функція перетворення.

$$\text{Визначимо } S_6 \text{ як } c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } g_{ij} \geq \max \\ 1, & \text{якщо } g_{ij-1} = \max(g_{i\pm 1, j\pm 1}) \text{ та } \theta_{ij-1} = 0 \\ 1, & \text{якщо } g_{i-1, j-1} = \max(g_{i\pm 1, j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i-1, j-1} = 45 \\ 1, & \text{якщо } g_{i-1, j} = \max(g_{i\pm 1, j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i-1, j} = 90 \\ 1, & \text{якщо } g_{i-1, j+1} = \max(g_{i\pm 1, j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i-1, j+1} = 135 \\ 1, & \text{якщо } g_{ij+1} = \max(g_{i\pm 1, j\pm 1}) \text{ та } \theta_{ij+1} = 180 \\ 1, & \text{якщо } g_{i+1, j+1} = \max(g_{i\pm 1, j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i+1, j+1} = 225 \\ 1, & \text{якщо } g_{i+1, j} = \max(g_{i\pm 1, j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i+1, j} = 270 \\ 1, & \text{якщо } g_{i+1, j-1} = \max(g_{i\pm 1, j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i+1, j-1} = 315 \\ 0, & \text{в усіх інших випадках} \end{cases}$$

З метою змикання частково розірваних контурів бульок на зображенні піни послідовно виконується операція дилатації та ерозії. Представимо модель замкнених контурів піни у вигляді $Mv = \langle V \rangle$, де V – матриця пікселів зображення, що позначають замкнені контури бульок піни.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & \dots & v_{2n} \\ & & v_{ij} \\ v_{k1} & \dots & v_{kn} \end{bmatrix},$$

де v_{ij} – ознака належності пікселя з координатами i, j замкненим контурам бульок піни.

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо піксель з координатами } i, j \text{ належить замкненому контуру бульки} \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

Для проведення операції дилатації використаємо матрицю U – матриця пікселів зображення, що позначають потовщені контури бульок піни.

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & \dots & u_{2n} \\ & & u_{ij} \\ u_{k1} & \dots & u_{kn} \end{bmatrix}$$

де u_{ij} – ознака належності пікселя з координатами i, j потовщеному контуру бульки піни.

Модель процесу замикання контурів бульок на зображенні піни представимо у вигляді $Mc \xrightarrow{S_7} Mv$, де S_7 – функція перетворення.

Визначимо S_7 як послідовність кроків:

$$u_{ij} = \max(c_{i-1, j-1}, c_{i-1, j}, c_{i-1, j+1}, c_{ij-1}, c_{i, j}, c_{i, j+1}, c_{i+1, j-1}, c_{i+1, j}, c_{i+1, j+1}).$$

$$v_{ij} = \min(c_{i-1, j-1}, c_{i-1, j}, c_{i-1, j+1}, c_{ij-1}, c_{i, j}, c_{i, j+1}, c_{i+1, j-1}, c_{i+1, j}, c_{i+1, j+1}).$$

Ідентифікація бульок піни проводиться шляхом підрахунку пікселів, що представляють собою замкнену фігуру. Представимо модель бульок піни у вигляді $Mr = \langle P \rangle$, де P – матриця бульок піни.

$$P = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \dots \\ p_m \\ \dots \\ p_l \end{bmatrix},$$

де p_m – характеристика m -ї бульки піни, l – кількість ідентифікованих бульок.

$p_m = [d_m, x_m, y_m]$, де d_m, x_m, y_m – відповідно діаметр та координати умовного центра бульки.

Додатково визначимо матрицю полігонів W , що містять пікселі ідентифікованих бульок піни.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 = \{w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1x}\} \\ w_2 = \{w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2y}\} \\ \dots \\ w_i = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ix}\} \\ \dots \\ w_l = \{w_{l1}, w_{l2}, \dots, w_{lx}\} \end{bmatrix},$$

де $w_i = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ix}\}$ – множина пікселів, що утворюють i -й полігон, x – кількість пікселів, що утворюють полігон.

Модель процесу ідентифікації бульок на зображенні піни представимо у вигляді $Mv \xrightarrow{S_8} Mp$, де S_8 – функція перетворення.

Визначимо S_8 як послідовність кроків:

Кожна ненульова точка, що позначає бульку буде додаватись до існуючого, у разі якщо дотикається до нього, або нового полігону.

$$\forall v_{ij} \in V \rightarrow \begin{cases} v_{ij} > 0 \wedge \exists \text{сусідів}(v_{ij}) = w_k \Rightarrow w_k = w_k + v_{ij} \\ v_{ij} > 0 \wedge \forall \text{сусідів}(v_{ij}) \notin W \Rightarrow w_{l+1} = v_{ij} \end{cases}$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \times |w_k|}{\pi}}.$$

$$x_k = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (i, \text{ якщо } v_{ij} \in w_k)}{|w_k|} - x \text{ координата центру полігона.}$$

$$y_k = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (j, \text{ якщо } v_{ij} \in w_k)}{|w_k|} - y \text{ координата центру полігона.}$$

Модель Mp визначає піну як сукупність бульок і зберігає в собі координати умовного центру бульки та її ефективний діаметр.

Оцінка достовірності моделі процесу визначення геометричних характеристик бульок піни

Проведемо оцінку достовірності моделі процесу визначення геометричних характеристик бульок піни (1), для чого порівняємо результати автоматичного визначення геометричних характеристик бульок на зображенні піни з еталонним ручним визначенням цих характеристик.

Розділимо діапазон допустимих радіусів бульок на 25 інтервалів та побудуємо гістограму розподілу радіусів бульок піни (рис. 1), та порівняємо її з гістограмою, отриманою в результаті еталонного ручного аналізу (рис. 2).

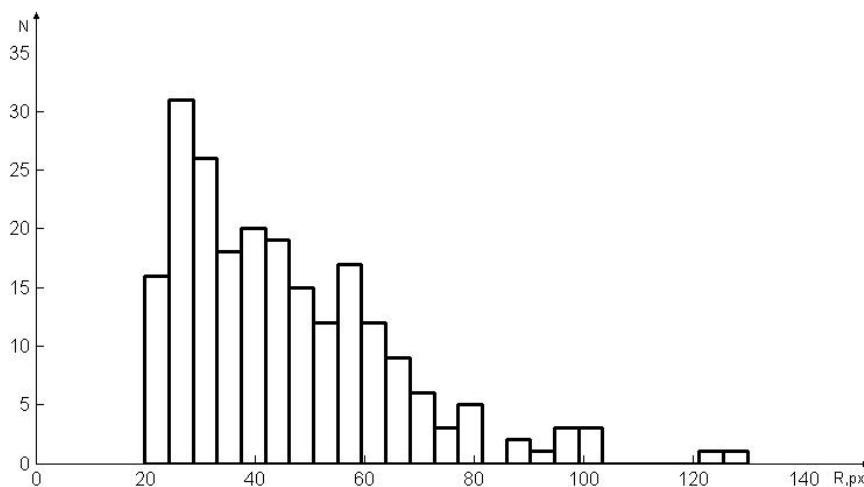


Рис. 1. Гістограма розподілу автоматично визначених радіусів бульок піни

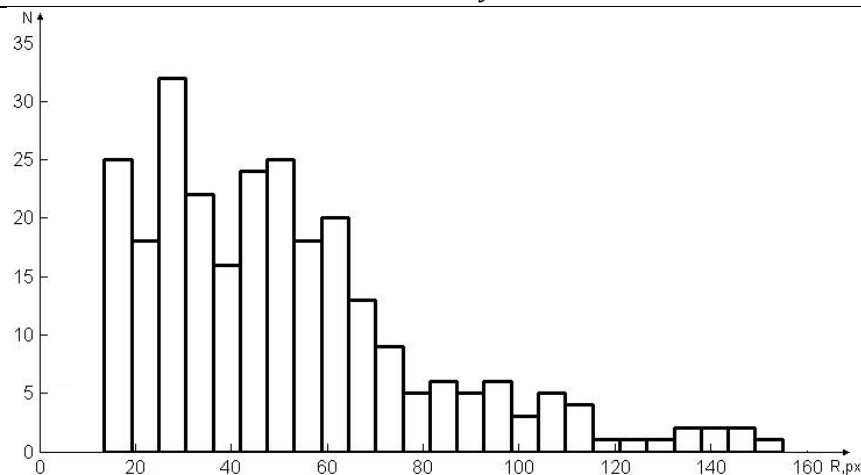


Рис. 2. Гістограма розподілу радіусів бульок піни при еталонному ручному аналізі

Для порівняння двох гістограм використаємо критерій Пірсона χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(x_i - y_i)^2}{y_i}, \quad (2)$$

де χ^2 – критерій Пірсона, x_i – кількість ідентифікованих бульок, що відповідають i -му інтервалу радіусів, y_i – фактична кількість бульок, що відповідають i -му інтервалу радіусів, k – кількість стовпців даних (інтервалів діапазону допустимих радіусів).

Розрахувавши χ^2 з отриманих даних маємо $\chi^2 = 60.7$. Кількість степенів свободи, що визначається кількістю інтервалів діапазону допустимих радіусів, для отриманих гістограм складає 24.

Згідно таблиці критичних значень критерію χ^2 при кількості степенів свободи $k = 24$ та критичному значенні критерію $\chi^2_{\text{крит}} = 60.7$ рівень розбіжності теоретично розрахованого розподілу кількості та радіусів бульок піни фактичному розподілу складає 13,7%.

З отриманого результату можна зробити висновок, що достовірність моделі (1) складає 86,3%. Це дозволяє використовувати запропоновану модель для визначення геометричних характеристик бульок піни, проводити порівняння різних зразків піни.

Висновок

Запропонована модель M визначення геометричних характеристик бульок на зображенні піни дозволяє з достовірністю 86,3% визначати кількість та діаметри бульок піни. Модель використовує методи векторного перетворення зображення піни, дозволяє розпаралелити частину обчислень і придатна до використання в режимі реального часу.

Література

1. Кльоц Ю.П. Система ідентифікації бульок на зображенні піни// Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 14-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2012, Київ, 24 квітня 2012 р. / ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ". – К.: ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ", 2012. с. 357.
2. Кльоц Ю. П. Метод ідентифікації бульок піни на зображеннях// Вісник Хмельницького національного університету. 2012, №2, с. 200-205.

References

1. Klots Yu.P. System identification bubbles on the image of foam // System Analysis and Information technologies: Materials of the 14th International scientific and technical conference SAIT 2012, Kyiv, s. 357. [in Ukrainian]
2. The method bubbles identification in the images of foam // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2012, # 2, s. 200-205.

Рецензія/Peer review : 23.10.2013 р. Надрукована/Printed :24.11.2013 р.
Рецензент: Шалапко Ю.І., д.т.н., проф. зав. каф. ОМ, ХНУ