

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗІВ НА ОСНОВІ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОКАЗУ ЛІЧИЛЬНИКА НА ЗОБРАЖЕННІ

В статті представлено модель процесу визначення показів лічильників на зображенні лічильника, що дозволяє в режимі реального часу фотографувати та визначити значення показу лічильника на зображенні, отриманого за допомогою фотокамери, встановленої перед лічильником. Модель представлена у вигляді послідовності перетворень фото із зображенням на ньому лічильником, в результаті якого ідентифікуються дані лічильника на зображенні та перетворюються у цифровий формат. Перетворення передбачають виконання матричних операцій згладжування та визначення границь об'єктів над матрицею зображення. Достовірність визначення показів лічильників оцінена за допомогою статистичних даних і складає 86%. Такі високі показники дозволяють відмовитись від візуального розпізнавання, натомість використовувати систему для автоматичного зняття показів.

Ключові слова: лічильник, покази, розпізнавання цифр, камера, модель процесу, перетворення зображення.

Y.P. KLOTS, O.V. IVANOV, K.P. NEHANOVA

Khmelytsky National University

### PROCESS MODEL FOR DETERMINING VALUES OF ENERGY METERS BASED ON IMAGE RECOGNITION

The paper presents a process model for determining values of energy meters based on image recognition that allows real-time photographing and recognition of energy meter value on image taken from a photo camera placed in front of an energy meter. The model presented as a sequence of transformations applied to an image with display of energy meter, then identification if data is performed and converted into digital format. Transformations used are matrix-based operations such as of smoothing and determining object borders applied to image matrix. The reliability of determining energy meter values estimated statistically is 86%. This allows giving up of visual determining of energy counter values and using this model instead to automate the process.

Keywords: energy meter, digits identification, camera, process model, image transformation.

#### Вступ

Зняття показів лічильників – доволі затратний за часом процес. Традиційний спосіб вимагає присутності уповноваженої особи на місці для зняття показів. Крім того процес може ускладнюватись тим, що доступ до лічильника може бути обмежений (за відсутності власника, наприклад).

Для реалізації системи визначення показів лічильників на зображенні потрібно розробити модель для обробки даних на фото із зображенням лічильника.

**Постановка задачі:** Для розв'язання задачі зняття показів лічильників необхідно розробити модель процесу визначення даних на зображенні, що дозволяє здійснювати ці операції в режимі реального часу.

#### Модель процесу визначення показів лічильника

Введемо позначення  $\rightarrow$ , яке позначає відношення між трьома поняттями:  $M_1 \xrightarrow{S} M_2$ , де  $M_1, M_2$  – це, відповідно, початкова та перетворена моделі,  $S$  – функція перетворення моделі.

Представимо модель процесу визначення показів лічильників на зображенні показу у вигляді певної послідовності перетворень зображення показу лічильника:

$$M = M_k \xrightarrow{S_1} M_{ms} \xrightarrow{S_2} M_s \xrightarrow{S_3} M_f \xrightarrow{S_4} M_b \xrightarrow{S_5} M_z \xrightarrow{S_6} M_c \xrightarrow{S_7} M_v \xrightarrow{S_8} M_e \xrightarrow{S_9} M_u \xrightarrow{S_{10}} M_v \quad (1)$$

Модель кольорового зображення, що місти покази лічильника подаються у вигляді:

$$M_k = V, \quad (2)$$

де  $V$  – матриця пікселів кольорового зображення.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n'} \\ v_{21} & \dots & v_{2n'} \\ & & v_{ij} \\ v_{k'1} & \dots & v_{k'n'} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де  $n', k'$  – ширина та висота (в пікселях), отриманого з камери зображення відповідно;

$v_{ij}$  – трикомпонентний вектор, що описує колір пікселя у RGB (red, green, blue) з координатами  $i = \overline{1, k'}, j = \overline{1, n'}$ .

Кожен компонент вектора визначає інтенсивність однієї з трьох складових моделі RGB: червоної (red), зеленої (green), синьої (blue).

$$v_{ij} = [r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}], \quad (4)$$

де  $r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}$  – значення інтенсивності відповідно червоної, зеленої та синьої компонент кольору пікселя початкового зображення.

Для зменшення використання системних ресурсів обчислювальної техніки доцільним буде масштабувати вихідне зображення.

Надамо модель масштабованого кольорового зображення у вигляді  $M_{ms} = H$ , де  $H$  – матриця пікселів кольорового масштабованого зображення.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & \dots & h_{2n} \\ & & h_{ij} \\ h_{k1} & \dots & h_{kn} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

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 RGB: червону (red), зелену (green), синю (blue).

$$h_{ij} = [r_{ij}^h, g_{ij}^h, b_{ij}^h], \quad (6)$$

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 надамо у вигляді

$$M_k \xrightarrow{S_1} M_{ms}, \quad (7)$$

де  $S_1$  – функція перетворення.

Визначимо  $S_1$  як:

$$r_{ij}^h = \frac{\left( \sum_{m=\lfloor \frac{i}{k_m} \rfloor}^{\lfloor \frac{i+1}{k_m} \rfloor} \sum_{l=\lfloor \frac{j}{k_m} \rfloor}^{\lfloor \frac{j+1}{k_m} \rfloor} r_{ml} \right)}{[k_m]^2}, \quad (8)$$

$$g_{ij}^h = \frac{\left( \sum_{m=\lfloor \frac{i}{k_m} \rfloor}^{\lfloor \frac{i+1}{k_m} \rfloor} \sum_{l=\lfloor \frac{j}{k_m} \rfloor}^{\lfloor \frac{j+1}{k_m} \rfloor} g_{ml} \right)}{[k_m]^2}, \quad (9)$$

$$b_{ij}^h = \frac{\left( \sum_{m=\lfloor \frac{i}{k_m} \rfloor}^{\lfloor \frac{i+1}{k_m} \rfloor} \sum_{l=\lfloor \frac{j}{k_m} \rfloor}^{\lfloor \frac{j+1}{k_m} \rfloor} b_{ml} \right)}{[k_m]^2}, \quad (10)$$

де  $[r_{ml}, g_{ml}, b_{ml}] \in V$  – пікселі вихідного кольорового зображення,

$[r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}] \in H$  – пікселі масштабованого кольорового зображення,

$k_m$  – коефіцієнт масштабування.

Для проведення аналізу зображення з метою виявлення на ньому об'єктів необхідне перетворення зображення до зображення в тонах сірого кольору.

Модель зображення в тонах сірого представимо у вигляді:

$$M_s = O, \quad (11)$$

де  $O$  – матриця пікселів зображення в тонах сірого.

$$O = \begin{bmatrix} o_{11} & \dots & o_{1n'} \\ o_{21} & \dots & o_{2n'} \\ & & o_{ij} \\ o_{k'1} & \dots & o_{k'n'} \end{bmatrix}, \quad (12)$$

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

Модель процесу перетворення кольорового зображення в тони сірого подамо у вигляді:

$$M_{ms} \xrightarrow{S_2} M_s, \quad (13)$$

де  $S_2$  – функція перетворення.

Визначимо  $S_2$  як:

$$r_{ij}k_r + g_{ij}k_g + b_{ij}k_b, \quad (14)$$

де  $k_r = 0.2989$ ,  $k_g = 0.5870$ ,  $k_b = 0.1141$  – стандартні вагові коефіцієнти впливу спектральних складових кольору RGB, червоний, зелений та синій відповідно.

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

Представимо модель фону зображення у вигляді

$$M_f = F, \quad (15)$$

де  $F$  – матриця пікселів фону зображення.

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & \dots & f_{2n} \\ & f_{ij} & \\ f_{k1} & \dots & f_{kn} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

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

Модель процесу побудови фоновго зображення подамо у вигляді:

$$M_s \xrightarrow{S_3} M_f, \quad (17)$$

де  $S_3$  – функція перетворення.

Визначимо  $S_3$  як:

$$f_{ij} = \frac{\left( \sum_{m=i-\lfloor \frac{k_f}{2} \rfloor}^{i+\lfloor \frac{k_f}{2} \rfloor} \sum_{l=i-\lfloor \frac{k_f}{2} \rfloor}^{j+\lfloor \frac{k_f}{2} \rfloor} o_{ml} \right)}{k_f^2}, \quad (18)$$

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

Представимо модель зображення без фону у вигляді:

$$M_f = B, \quad (19)$$

де  $B$  – матриця пікселів зображення без фону.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & \dots & b_{2n} \\ & b_{ij} & \\ b_{k1} & \dots & b_{kn} \end{bmatrix}, \quad (20)$$

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

Модель процесу віднімання фону від зображення в тонах сірого представимо у вигляді:

$$M_f \xrightarrow{S_4} M_b, \quad (21)$$

де  $S_4$  – функція перетворення.

Визначимо  $S_4$  як

$$b_{ij} = \begin{cases} o_{ij} - f_{ij}, & \text{якщо } o_{ij} > f_{ij} \\ 0, & \text{якщо } o_{ij} \leq f_{ij} \end{cases}, \quad (22)$$

де  $o_{ij}$  – значення інтенсивності білого кольору пікселя з координатами;

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

Використання методів контурного аналізу передбачає попереднє згладжування зображення. Для цього використаємо фільтр Гауса.

Для побудови маски Гауса визначимо функцію Гауса:

$$f_g(x, y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\delta^2}}, \quad (23)$$

де  $x, y$  – координати точки відносно центра матриці,  
 $\delta$  – середньоквадратичне відхилення розподілу Гауса.  
 На основі функції Гауса побудуємо маску Гауса:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & \dots & m_{1y} \\ m_{21} & \dots & m_{2y} \\ & & m_{ij} \\ m_{x1} & \dots & m_{xy} \end{bmatrix}, \quad (24)$$

де  $m_{ij}$  – нормована вага пікселя зображення з координатами:

$$m_{ij} = \frac{f_g(r, c)}{\sum_{r=1}^x \sum_{c=1}^y f_g(r, c)}, \quad (25)$$

де  $i, j, x, y$  – розмір маски.  
 Представимо модель згладженого зображення у вигляді

$$M_z = Z,$$

де  $Z$  – матриця пікселів згладженого зображення:

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & \dots & z_{2n} \\ & & z_{ij} \\ z_{k1} & \dots & z_{kn} \end{bmatrix}, \quad (26)$$

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

Модель процесу згладжування зображення подамо у вигляді

$$M_b \xrightarrow{S_5} M_z, \quad (27)$$

де  $S_5$  – функція перетворення.

Визначимо  $S_5$  як:

$$z_{ij} = \sum_{r=(1-x)/2c=(1-y)/2}^{(x-1)/2} \sum_{c=(1-y)/2}^{(y-1)/2} b_{(i+r)(j+c)} m_{rc}, \quad (28)$$

де  $z_{ij}$  – 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 показу лічильника у вигляді:

$$M_z = C, \quad (29)$$

де  $C$  – матриця пікселів зображення, що позначають контури лічильника на зображенні показу.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & \dots & c_{2n} \\ & & c_{ij} \\ c_{k1} & \dots & c_{kn} \end{bmatrix}, \quad (30)$$

де  $c_{ij}$  – визначає чи належить піксель з координатами  $i, j$  контуру лічильника.

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо піксель з координатами } i, j \text{ належить контуру лічильника} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \quad (31)$$

Знаходження контурів цифр доцільно реалізувати за допомогою детектора границь Канні. З цією метою використаємо пару стандартних масок оператора Собеля, що дозволяють визначити градієнт зображення показу лічильника.

$$Mx = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \quad My = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \quad (32)$$

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

Позначимо  $Gx$  та  $Gy$  матриці відповідних градієнтів:

$$Gx = \begin{bmatrix} g_{11}^x & \dots & g_{1n}^x \\ g_{21}^x & \dots & g_{2n}^x \\ & g_{ij}^x & \\ \dots & \dots & \dots \\ g_{k1}^x & \dots & g_{kn}^x \end{bmatrix}, \quad Gy = \begin{bmatrix} g_{11}^y & \dots & g_{1n}^y \\ g_{21}^y & \dots & g_{2n}^y \\ & g_{ij}^y & \\ \dots & \dots & \dots \\ g_{k1}^y & \dots & g_{kn}^y \end{bmatrix}, \quad (33)$$

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

$$g_{ij}^x = \sum_{r=-1}^1 \sum_{c=-1}^1 z_{(i+r)(j+c)} \times m_{rc}^x, \quad g_{ij}^y = \sum_{r=-1}^1 \sum_{c=-1}^1 z_{(i+r)(j+c)} \times m_{rc}^y, \quad (34)$$

де  $m_{rc}^x, m_{rc}^y$  – відповідних елементів масок  $Mx, My$ .

Визначимо значення модуля градієнта для кожної точки  $Mz$ . Позначимо  $G$  матриці абсолютних значень градієнта.

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & \dots & g_{2n} \\ & g_{ij} & \\ \dots & \dots & \dots \\ g_{k1} & \dots & g_{kn} \end{bmatrix}, \quad (35)$$

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

$$g_{ij} = \begin{cases} |g_{ij}^x| + |g_{ij}^y|, & \text{якщо } |g_{ij}^x| + |g_{ij}^y| \geq \min \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}, \quad (36)$$

де  $\min$  – значення мінімального порогу детектора границь Канні.

З метою визначення напрямку границі лічильника розрахуємо кут її нахилу. Позначимо  $\Theta$  матрицю розрахованих кутів нахилу контурів.

$$\Theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \dots & \theta_{1n} \\ \theta_{21} & \dots & \theta_{2n} \\ & \theta_{ij} & \\ \dots & \dots & \dots \\ \theta_{k1} & \dots & \theta_{kn} \end{bmatrix}, \quad (37)$$

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

Визначимо значення  $\theta_{ij}$ , для цього порахуємо значення кута.

$$\alpha_{ij} = \arctg\left(\frac{g_{ij}^x}{g_{ij}^y}\right) \quad \theta_{ij} = \begin{cases} 45, & \text{якщо } 22,5 \leq \alpha_{ij} < 67,5 \\ 90, & \text{якщо } 67,5 \leq \alpha_{ij} < 112,5 \\ 135, & \text{якщо } 112,5 \leq \alpha_{ij} < 157,5 \\ 0, & \text{при інших значеннях } \alpha_{ij} \end{cases} \quad (38)$$

Модель процесу знаходження контуру лічильника на зображенні показу лічильника представимо у вигляді:

$$M_z \xrightarrow{S_6} M_c, \quad (39)$$

де  $S_6$  – функція перетворення. Визначимо  $S_6$  як

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } g_{ij} \geq \max \\ 1, \text{ якщо } g_{ij-1} = \max(g_{i\pm 1j\pm 1}) \text{ та } \theta_{ij-1} = 0 \\ 1, \text{ якщо } g_{i-1j-1} = \max(g_{i\pm 1j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i-1j-1} = 45 \\ 1, \text{ якщо } g_{i-1j} = \max(g_{i\pm 1j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i-1j} = 90 \\ 1, \text{ якщо } g_{i-1j+1} = \max(g_{i\pm 1j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i-1j+1} = 135 \\ 1, \text{ якщо } g_{ij+1} = \max(g_{i\pm 1j\pm 1}) \text{ та } \theta_{ij+1} = 180 \\ 1, \text{ якщо } g_{i+1j+1} = \max(g_{i\pm 1j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i+1j+1} = 225 \\ 1, \text{ якщо } g_{i+1j} = \max(g_{i\pm 1j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i+1j} = 270 \\ 1, \text{ якщо } g_{i+1j-1} = \max(g_{i\pm 1j\pm 1}) \text{ та } \theta_{i+1j-1} = 315 \\ 0, \text{ в усіх інших випадках} \end{cases}, \quad (40)$$

З метою змикання частково розірваних контурів лічильника на зображенні показу послідовно виконується операція дилатації та ерозії. Представимо модель замкнених контурів у вигляді

$$M_v = V, \quad (41)$$

де  $V$  – матриця пікселів зображення, що позначають замкнені контури лічильника.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & \dots & v_{2n} \\ & & v_{ij} \\ v_{k1} & \dots & v_{kn} \end{bmatrix}, \quad (42)$$

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

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо піксель з координатами } i, j \text{ належить замкненому контуру лічильника} \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases} \quad (43)$$

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

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & \dots & u_{2n} \\ & & u_{ij} \\ u_{k1} & \dots & u_{kn} \end{bmatrix}, \quad (44)$$

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

Модель процесу замикавання контурів лічильника на зображенні показу представимо у вигляді

$$M_c \xrightarrow{S_7} M_v, \quad (45)$$

де  $S_7$  – функція перетворення.

Визначимо  $S_7$  як послідовність кроків:

$$u_{ij} = \max(c_{i-1j-1}, c_{i-1j}, c_{i-1j+1}, c_{ij-1}, c_{i,j}, c_{i,j+1}, c_{i+1j-1}, c_{i+1j}, c_{i+1j+1}), \quad (46)$$

$$v_{ij} = \min(c_{i-1j-1}, c_{i-1j}, c_{i-1j+1}, c_{ij-1}, c_{i,j}, c_{i,j+1}, c_{i+1j-1}, c_{i+1j}, c_{i+1j+1}). \quad (47)$$

Позначимо  $E$  – тривимірна матриця параметрів кіл:

$$E = \begin{bmatrix} e_{111} \dots e_{11r}, & \dots & e_{1n1} \dots e_{1nr} \\ e_{211} \dots e_{21r}, & \dots & e_{2n1} \dots e_{2nr} \\ e_{k11} \dots e_{k1r}, & \dots & e_{kn1} \dots e_{knr} \end{bmatrix}, \quad (48)$$

де  $e_{ijl}$  – кількість точок, що належать колу з центром в точці  $(i, j)$  та радіусом  $l$ .

Модель процесу визначення кола на зображенні подамо у вигляді:

$$M_v \xrightarrow{S_8} M_e, \quad (49)$$

функція перетворення визначимо  $S_8$  як:

$$e_{ijl} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^k U_{xy} * \begin{cases} 1, \text{якщо } (x-i)^2 + (y-j)^2 - l^2 < 1 \\ 0, \text{інакше} \end{cases}, \quad (50)$$

Визначимо  $R_x, R_y$  – координати та  $R$  – радіус табло круглого лічильника.

Довжина кола круглого табло лічильника за умови, що табло займає не менше 80% ширини (висоти) екрану складе:

$$l = \min(n, k) * \pi * 0.8, \quad (51)$$

де  $n, k$  – розміри  $U$ .

Враховуючи похибку розпізнавання контуру можна стверджувати про наявність круглого табло на зображенні, якщо  $\max(E) > l * 0.75$ , тоді  $R_x = x_{\max}(E)$ ,  $R_y = y_{\max}(E)$ ,  $R = R_{\max}(E)$ , в іншому випадку на зображенні немає круглого табло або воно займає менше 80%.

Позначимо  $E'$  – матриця параметрів прямих:

$$E' = \begin{bmatrix} e'_{11} \dots & e'_{12} \\ e'_{n1} \dots & e'_{n2} \end{bmatrix}, \quad (52)$$

де  $e'_{ij}$  – кількість точок контурів прямокутного табло,

$i$  – довжина перпендикуляра від початку координат до прямої,

$j$  – кут між перпендикуляром і віссю  $Ox$  ( $1 - 0^\circ$ ,  $2 - 90^\circ$ )

Модель процесу визначення прямокутника на зображенні подамо у вигляді:

$$M_e \xrightarrow{S_9} M_u, \quad (53)$$

Функцію перетворення визначимо  $S_9$  як :

$$e_{ijl} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^k U_{xy} * \begin{cases} 1, \text{якщо } x * \cos j + y * \sin j - i < 1 \\ 0, \text{інакше} \end{cases}, \quad (54)$$

Визначимо межі прямокутного табло на зображенні  $U$ . Довжина горизонтальних меж табло, за умови, що воно не менше 80% ширини (висоти екрану) складе:

$$l = n * 0.8, \quad (55)$$

Враховуючи похибку розпізнавання контуру можна стверджувати про наявність прямокутного табло на зображенні, якщо  $\max h(E) > l * 0.75$  (верхня границя) та  $\max l(E) > l * 0.75$  (нижня границя)

Тоді  $y_h = y \max h(E)$ ,  $y_l = y \max l(E)$ ,  $x_l = x \max L(E)$ ,  $x_r = x \max R(E)$

У випадку, якщо форма лічильника не визначена, потрібно отримати нове зображення.

Модель процесу визначення зображення табло лічильника подамо у вигляді

$$M_u \xrightarrow{S_{10}} M_w, \quad (56)$$

де  $S_{10}$  – функція перетворення.

Модель зображення табло лічильника представлено у вигляді  $M_w = W, T$ , де  $W$  – зображення лічильника,  $T$  – форма лічильника.  $T = \{\text{прямокутний, круглий}\}$

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1x \max} \\ w_{y \max 1} & \dots & w_{x \max y \max} \end{bmatrix}, \quad (57)$$

де  $w_{ij}$  :

$$w_{ij} = u_{(xl+i)(yh+j)}, \quad (58)$$

де  $i = \overline{1, x_2 - x_1}$ ;

$j = \overline{1, y_h - y_l}$ ;

Впорядкуємо розміри елементів  $W$  до висоти 300 пікселів.

$W'$  – змасштабоване  $W$ ,

де

$$w'_{ij} = \frac{\left( \sum_{m=\lfloor \frac{i}{k_m} \rfloor}^{\lfloor \frac{i+1}{k_m} \rfloor} - \sum_{l=\lfloor \frac{j}{k_m} \rfloor}^{\lfloor \frac{j+1}{k_m} \rfloor} \right) w_{ml}}{[k_m]^2}, \quad (59)$$

Позначимо  $M_1$  – множина еталонних зображень.

$$M_1 = \langle W, T, M_2 \rangle, \tag{60}$$

де  $M_2$  – марка,  $|M_2| = k$  – кількість типів лічильників.

Позначимо  $M_3$  –множина лічильників:

$$M_3 = \langle K_p, m, K_n, n, S \rangle, \tag{61}$$

де  $K_p$  – координати зони показів лічильника,

$m$  – кількість розрядів,

$K_n$  – координати зони номера лічильника,

$n$  – номер лічильника,

$S$  – марка лічильника.

$$S = \min_K \left( \sum_{i,j} |w_{ij}^i - w_{ij}^{M_1}| \right), \tag{62}$$

**Оцінка достовірності моделі процесу визначення показів лічильників**

Для оцінки точності розпізнавання показів лічильників було обрано статистичний метод. В ході проведення оцінки було опрацьовано 50 зображень. Результати програмного розпізнавання порівнювались із результатами візуального розпізнавання людиною.

Таблиця 1

**Порівняльна таблиця**

	Програмне розпізнавання		Візуальне розпізнавання	
	Абсолютне значення (шт.)	Відносне значення (%)	Абсолютне значення (шт.)	Відносне значення (%)
Тип лічильника	47	94	50	100
№ лічильника	46	92	50	100
Показ лічильника	43	86	46	92

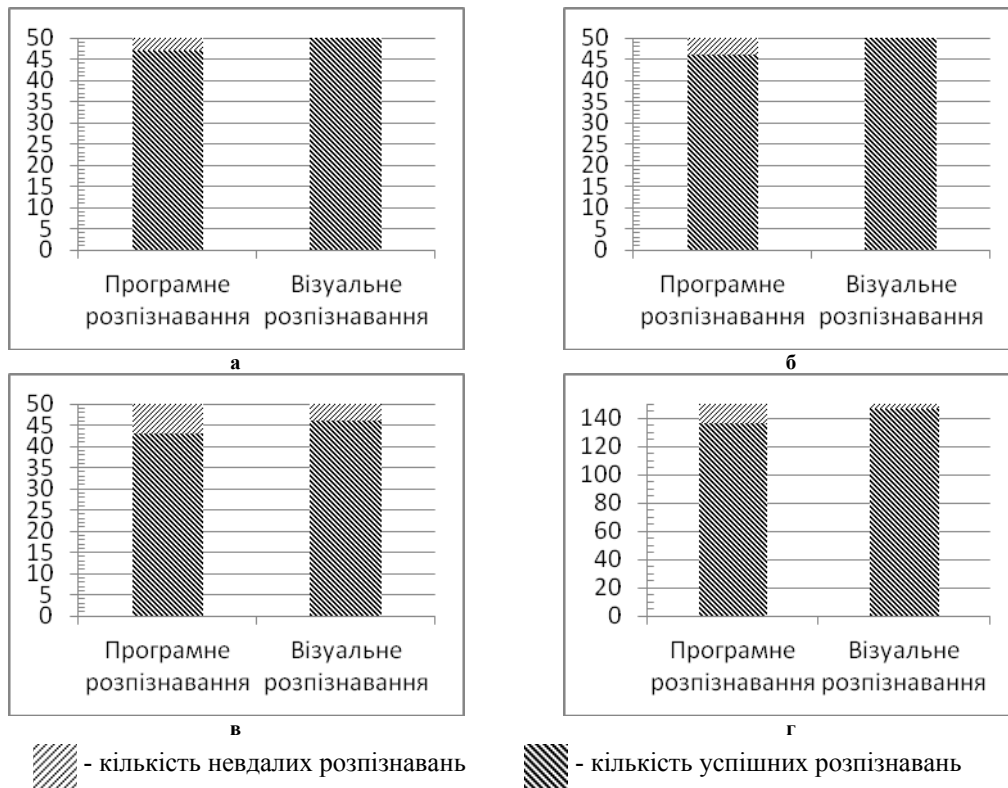


Рис. 1. Діаграма відношення кількості успішних до кількості невдалих розпізнавань для категорій: а) тип лічильника; б) № лічильника; в) показ лічильника; г) загальна кількість

Оцінивши достовірність, яка складає 86% для визначення показів лічильників, можна запропонувати модель (1) для впровадження автоматичного збору показів лічильників.

**Висновки.** Запропонована модель системи автоматичного визначення показів лічильників на основі

розпізнавання показу на зображенні, дозволяє визначати показ лічильника із достовірністю 86%. В процесі використовуються методи векторного перетворення зображення показу лічильника, що, в свою чергу, дозволяє оптимізувати програмне забезпечення за рахунок використання багатоядерних процесорів.

### Література

1. Кльоц Ю.П. Модель процесу визначення геометричних характеристик бульок на зображенні піни / Ю.П. Кльоц, А.О. Гришук // Вісник Хмельницького національного університету, Технічні науки. – 2013. – № 6. – С. 223–229.
2. Кльоц Ю.П. Система ідентифікації бульок на зображенні піни / Ю.П. Кльоц // 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. – 357 с.
3. Кльоц Ю. П. Метод ідентифікації бульок піни на зображеннях/ Ю.П. Кльоц // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 200–205.

### References

1. Klots Y.P., Gryshuk A.O. Process model for the geometrical characteristics determining of the bubbles on the foam image, Herald of Khmelnytsky National University. Technical sciences. Khmelnytsky. – 2013. – Volume 6. – P. 200–205.
2. Klots Y.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. 2012. p. 357.
3. Klots Y.P. The method bubbles identification in the images of foam, Herald of Khmelnytsky National University. 2012, Volume 2, pp. 200–205.
4. Kozlenko M., Kuz M. Joint capturing of read outs of household power supply meters. In Proceedings of the 13th International Conference TCSET 2016: Modern Problems of RadioEngineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavsko. 2016. pp. 755–757.

Рецензія/Peer review : 11.05.2017 р.

Надрукована/Printed :07.09.2017 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатиї Р.В.