

Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.  
Л.О. Чепюк, к.т.н., доц.  
В.В. Чепюк, студент  
Ю.М. Єфремов, к.т.н., доц.  
О.О. Лугових, ст. викладач

Державний університет «Житомирська політехніка»

## Аналітичний огляд програмно-алгоритмічних методів обробки вимірювальної інформації про геометричні параметри об'єктів на зображеннях

*У статті розглянуто програмно-алгоритмічні методи та обчислювальні аспекти виконання операцій перетворення координат точок на площині. Зокрема це процедури: знаходження нових прямокутних координат вектора при повороті його (або системи координат) на деякий кут у площині зображення; перетворення координат вектора з прямокутної системи координат у полярну та навпаки. При цьому координати вектора відповідають координатам деякої точки об'єкта на зображенні. Ця точка може бути елементом контуру об'єкта або його центром мас. Перетворення координат цих точок дозволяють описати поступальний рух центра мас та обертальний рух об'єкта навколо центра мас. Відповідно розглянуті перетворення координат використовуються під час визначення геометричних параметрів цих об'єктів, аналітичного опису параметрів руху об'єктів на основі афінних перетворень, розробки нових методів перетворення, кодування та стиснення зображень на основі інтелектуальних технологій (фрактали, штучні нейронні мережі). Виконання операцій перетворення координат вимагає багатократного виконання операцій множення та обчислення значень трансцендентних функцій (прямі та обернені тригонометричні функції, квадратні корені). Розглянуто та проаналізовано методи обчислення цих функцій: табличні методи; апроксимаційні методи; таблично-алгоритмічні методи; ітераційні методи. Основну увагу приділено таблично-алгоритмічним методам обчислення полярних координат, визначення відстані та лінійних розмірів об'єктів, їх кутового положення на основі функцій квадратного кореня та арктангенса. Також розглянуто ітераційний метод «цифра за цифрою» (метод Cordic) для обчислення афінних перетворень та переходу між прямокутною та полярною системами координат.*

**Ключові слова:** геометричні параметри; зображення; перетворення координат; таблично-алгоритмічний метод; ітераційний метод Cordic.

**Актуальність теми.** У випадку реалізації програмно-алгоритмічних операцій обробки зображень на базі мікроконтролерів у складі мобільних пристроїв, спеціалізованих систем обробки зображень, систем відеоспостереження актуальним питанням є скорочення та оптимізація кількості обчислювальних операцій. Це обумовлено необхідністю обробки зображень у реальному часі за обмежених обчислювальних потужностей вказаних пристроїв. На відміну від процесорів робочих станцій та серверів, що мають блок обчислення з плаваючою комою та мікропрограмну реалізацію обчислень трансцендентних функцій, у мікроконтролерах потрібно реалізовувати такі обчислення окремими програмно-алгоритмічними методами. Тому потрібно проаналізувати існуючі методи обчислення трансцендентних функцій (прямі та обернені тригонометричні функції, квадратні корені тощо) та знайти серед них такі, що дозволяють реально визначати результати перетворення координат векторів та контурних точок об'єктів у площині зображення. На цій основі може бути реалізовано обчислення геометричних параметрів цих об'єктів, здійснено аналітичний опис параметрів руху об'єктів на базі афінних перетворень, розроблено нові методи перетворення, кодування та стиснення зображень на основі інтелектуальних технологій (фрактали, штучні нейронні мережі).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Методи та алгоритми обробки зображень розглянуто у роботах Gonzalez and Richard E. Woods [1], David Forsyth, Jean Ponce [2], Jeahne B. [3]. Методи обробки параметрів руху розглянуто у [4–6]. Методи обчислення функцій розглянуто у [7–15].

**Метою статті** є аналітичний огляд програмно-алгоритмічних методів обробки вимірювальної інформації про геометричні параметри об'єктів зображення та опис способів знаходження нових прямокутних координат вектора при повороті його (або системи координат) на деякий кут у площині зображення; перетворення координат вектора з прямокутної системи координат у полярну та навпаки.

**Викладення основного матеріалу.** Задачі перетворення координат є характерними для багатьох галузей техніки, керуючих і спеціалізованих ЕОМ. Як приклад такого завдання розглянемо процедуру знаходження нових прямокутних координат вектора при повороті його (або системи координат) на кут  $\varphi$  :

$$\begin{aligned}x' &= x \cos \varphi - y \sin \varphi, \\y' &= y \cos \varphi + x \sin \varphi.\end{aligned}\quad (1)$$

Обчислення за формулою (1) вимагають виконання чотирьох операцій множення і двох операцій додавання. Використання методу Голуба дозволяє виконати обчислення за допомогою трьох операцій множення і п'яти операцій додавання:

$$\begin{aligned}x' &= (x + y)(\cos \varphi - \sin \varphi) + x \sin \varphi - \cos \varphi, \\y' &= y \cos \varphi + x \sin \varphi.\end{aligned}\quad (2)$$

Використання методу Б'юнемена дозволяє виконати обчислення за допомогою трьох операцій множення і чотирьох операцій додавання:

$$\begin{aligned}x' &= (1 + \cos \varphi) \left( x - y \tan \frac{\varphi}{2} \right) - x, \\y' &= (1 + \cos \varphi) \left( x - y \tan \frac{\varphi}{2} \right) \tan \frac{\varphi}{2} + y.\end{aligned}\quad (3)$$

Операція перетворення координат вектора з декартової системи в полярну, виконується за формулами:

$$\begin{aligned}R &= \sqrt{x^2 + y^2}, \\ \varphi &= \arctan(y/x).\end{aligned}\quad (4)$$

Виконання операцій за формулами (1)–(4) вимагають одночасного обчислення двох функцій:  $\sin \varphi$  і  $\cos \varphi$ , або  $\cos \varphi$  і  $\tan(\varphi/2)$ , або  $\sqrt{x^2 + y^2}$  і  $\arctan(y/x)$ . Оскільки обчислення таких тригонометричних функцій потрібно виконувати у реальному масштабі часу, то виникає необхідність вибору методу обчислення.

Існують різні методи обчислення функцій. До найбільш розповсюджених належать:

- табличні методи;
- апроксимаційні методи;
- таблично-алгоритмічні методи;
- ітераційні методи.

Табличні методи використовують заздалегідь створені таблиці, які містять значення функції. Адреси до таблиці аргумент функції. Такі методи мають високу швидкодію, але придатні за малої розрядності аргументу. Наприклад, за розрядності аргументу  $n = 32$  необхідно сформувати таблицю значень функції, об'єм якої буде  $2^{32}$  байт, а  $n = 64$  –  $2^{64}$  байт. Ще більший об'єм пам'яті потрібен під час обчислення функції одразу двох аргументів, наприклад,  $\sqrt{x^2 + y^2}$  і  $\arctan(y/x)$ .

$$x_1 = \max\{|x|, |y|\};\quad (5)$$

$$y_1 = \min\{|x|, |y|\};\quad (6)$$

$$v = \text{int}\{\log_2 x_1\};\quad (7)$$

$$a = x_1 \cdot 2^{-v};\quad (8)$$

$$b = y_1 \cdot 2^{-v};\quad (9)$$

$$a_1 = \log_2 a;\quad (10)$$

$$b_1 = \log_2 b;\quad (11)$$

$$c = a_1 - b_1;\quad (12)$$

$$d = \frac{1}{\cos(\arctg(2^{-c}))}; \quad (13)$$

$$R = d \cdot x_1; \quad (14)$$

$$\varphi = \arctg(2^{-c}), \quad (15)$$

де  $\text{int}\{\cdot\}$  – ціла частина числа,  $\varphi = (0 \dots 45^\circ)$ .

У процесі обчислень отримуємо одночасно значення двох функцій  $R = \sqrt{x^2 + y^2}$  і  $\varphi = \arctan(y/x)$ . Формули (10), (11), (13), (14) отримуються за допомогою таблиць.

Для збільшення діапазону значень функції  $\varphi = \arctan(y/x)$  до інтервалу  $\varphi = (0 \dots 360^\circ)$  потрібно виконати операцію додавання на суматорі, виконати аналіз знаків і відношень аргументів  $x$  і  $y$ , а зберігати чотири константи кутів  $\varphi = (90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ)$ .

Ітераційні методи засновані на виконанні обчислень покрокових наближень значень функції за ітераційною формулою  $Y_{j+i} = f(Y_i)$ . Швидкодія процесу обчислення може бути зменшена за рахунок виконання на кожному кроці операцій ділення і множення. Для цих методів легко виконати оцінювання похибки обчислень, а алгоритми виконання обчислень значень базового набору функцій подібні. У наш час широко використовуються ітераційні методи «цифра за цифрою». Вони дозволяють за  $n$  кроків виконання алгоритму отримувати значення функції на кожній ітерації з точністю до одиниці  $n$ -го розряду. Метод «цифра за цифрою» дає можливість виконувати обчислення багатьох функцій, зокрема функцій двох аргументів, а також обчислювати корені поліномів і виконувати операції перетворення координат. За рахунок ведення додаткових розрядів можна зменшити похибку обчислень. Заміна операцій множення і ділення на прості операції типу «додавання та зсув» спрощує апаратну реалізацію [7].

Один із різновидів методу «цифра за цифрою», відомий як метод CORDIC був запропонований Д. Волдером. Використання найпростіших операцій типу «додавання та зсув» дає можливість виконувати обчислення як елементарних, так і трансцендентних функцій (прямих і обернених тригонометричних та гіперболічних функцій, логарифмічних та експоненціальних функцій тощо). Існує багато модифікацій методу «цифра за цифрою», які використовуються для виконання обчислень на мікроконтролерах (МК) та програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС) [8].

За допомогою методу «цифра за цифрою» всі типові перетворення координат виконуються, як відомо, за одну операцію, що складається з  $n$  ітерацій. Розглянемо три види операцій над векторами на площині.

1. Поворот вектора, заданого своїми проєкціями  $X$  і  $Y$  у прямокутній системі координат, на кут  $\varphi$  (операція «поворот»). Якщо

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left( \varphi - \sum_{k=0}^n \xi_k \arctan a^{-i} \right) = 0,$$

то

$$\begin{aligned} Y' &= \text{Im} \left[ (X + jY) \frac{1}{K} \prod_{k=0}^{\infty} (1 - j \xi_k \alpha^{-i}) \right] = Y \cos \varphi - X \sin \varphi; \\ X' &= \text{Re} \left[ (X + jY) \frac{1}{K} \prod_{k=0}^{\infty} (1 - j \xi_k \alpha^{-i}) \right] = X \cos \varphi + Y \sin \varphi, \end{aligned} \quad (16)$$

де  $X'$  і  $Y'$  – нові координати вектора.

Величина  $1/K$  є константою, яка обчислюється за формулою

$$\frac{1}{K} = 1 / \sqrt{2} \prod_{i=0}^n (1 + \alpha^{-2i})^{q/2},$$

де  $q$  – кількість кроків алгоритму,  $n$  – розрядів. Ця константа з'являється внаслідок того, що на кожній ітерації під час множення на комплексне число вигляду  $(1 - j \xi_k \alpha^{-i})$  поточне значення функції зростає порівняно з істинним в  $\sqrt{1 - \alpha^{-2i}}$  разів. Отже, при відомих  $n$ ,  $\alpha$  і  $q$  можна обчислити константу  $1/K$ , множення на яку коригує кінцеве значення функції.

2. Перетворення координат вектора з прямокутної системи координат  $(X, Y)$  у полярну  $(\rho, \varphi)$  – побудова вектора (операція «вектор»).

Якщо

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \text{Im} \left[ (X + jY) \frac{1}{K} \prod_{k=0}^n (1 - j \xi_k \alpha^{-i}) \right] \right\} = 0,$$

то

$$\rho = \operatorname{Re} \left[ (X + jY) \frac{1}{K} \prod_{k=0}^n (1 - j\xi_k \alpha^{-i}) \right] = \sqrt{X^2 + Y^2} ; \quad (17)$$

i

$$\varphi = \sum_{k=0}^{\infty} \xi_k \arctan \alpha^{-i} = \arctan \frac{Y}{X} .$$

3. Перетворення координат вектора з полярної системи координат  $(\rho, \varphi)$  у прямокутну  $(X, Y)$  – розкладання вектора.

Якщо

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left( \varphi - \sum_{k=0}^n \xi_k \arctan \alpha^{-i} \right) = 0 ,$$

то

$$\begin{aligned} Y &= \operatorname{Im} \left[ \rho \frac{1}{K} \prod_{k=0}^n (1 - j\xi_k \alpha^{-i}) \right] = -\rho \sin \varphi ; \\ X &= \operatorname{Re} \left[ \rho \frac{1}{K} \prod_{k=0}^n (1 - j\xi_k \alpha^{-i}) \right] = \rho \cos \varphi . \end{aligned} \quad (18)$$

Для виконання операції «поворот» використовуються формули:

$$\begin{aligned} \theta_k &= \theta_0 - \sum_{i=0}^{k-1} \xi_i \arctan \alpha^{-i} ; \\ x_k &= \operatorname{Re} \left[ (y_0 + jx_0) \prod_{i=0}^{k-1} (1 - j\xi_i \alpha^{-i}) \right] ; \\ y_k &= \operatorname{Im} \left[ (x_0 + jy_0) \prod_{i=0}^{k-1} (1 - j\xi_i \alpha^{-i}) \right] , \end{aligned} \quad (19.1)$$

де  $\theta_0, x_0, y_0$ , – початкові умови.

$$\begin{aligned} \theta_{k+1} &= \theta_k - \xi_k \arctan \alpha^{-i}, \operatorname{sgn} \xi_k = \operatorname{sgn} \theta_k , \\ y_{k+1} &= y_k - \xi_k x_k \alpha^{-i}, x_{k+1} = x_k + \xi_k x_k y^{-i} . \end{aligned} \quad (19.2)$$

Початкові значення:  $\theta_0 = \varphi, y_0 = Y, x_0 = 1/K$ . Кінцеві значення:  $\theta_{\text{кін}} = 0, y_{\text{кін}} = K(Y \cos \varphi - X \sin \varphi), x_{\text{кін}} = K(X \cos \varphi + Y \sin \varphi)$ .

Блок-схема алгоритму обчислення координат вектора після повороту наведена на рисунку 1.

Для обчислення функції  $\arctan X$  використовуються формули

$$\begin{aligned} \theta_{k+1} &= \theta_k + \xi_k \arctan \alpha^{-i}, \\ \operatorname{sgn} \xi_k &= \operatorname{sgn} y_k , \\ y_{k+1} &= y_k - \xi_k x_k \alpha^{-i}, \\ x_{k+1} &= x_k + \xi_k x_k y^{-i} . \end{aligned} \quad (19.3)$$

Початкові значення:  $\theta_0 = 0, y_0 = X, x_0 = 1$ . Кінцеві значення:  $\theta_{\text{кін}} = 0, y_{\text{кін}} = 0, x_{\text{кін}} = K\sqrt{X^2 + 1}$ .

Блок-схема алгоритму обчислення  $\arctan X$  наведена на рисунку 2.

#### Декартові координати

Необхідно виконати множення вектора з координатами  $(X_1, Y_1)$  на вектор з координатами  $(X_2, Y_2)$ .

На першому етапі за допомогою операції «вектор» визначається кут  $\varphi = \arctan(Y_2 / X_2)$ . На другому етапі, виконується операція «поворот» на кут  $\varphi$  вектора з проєкціями:  $(X_1, Y_1)$ :

$$X' = K \left[ X_1 \cos \left( \arctan \frac{Y_2}{X_2} \right) + Y_1 \sin \left( \arctan \frac{Y_2}{X_2} \right) \right] = (X_1 X_2 + Y_1 Y_2) \frac{K}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}} ; \quad (20)$$

$$Y' = (Y_1 X_2 - X_1 Y_2) \frac{K}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}} . \quad (21)$$

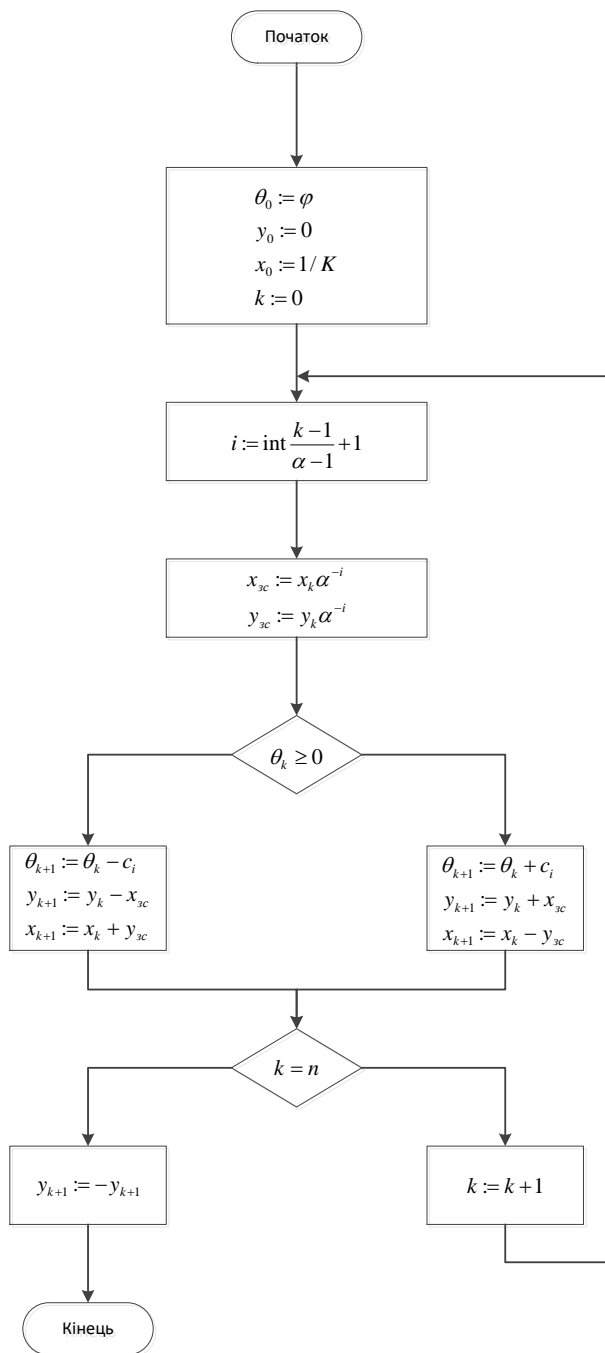


Рис. 1. Блок-схема алгоритму обчислення координат вектора після повороту

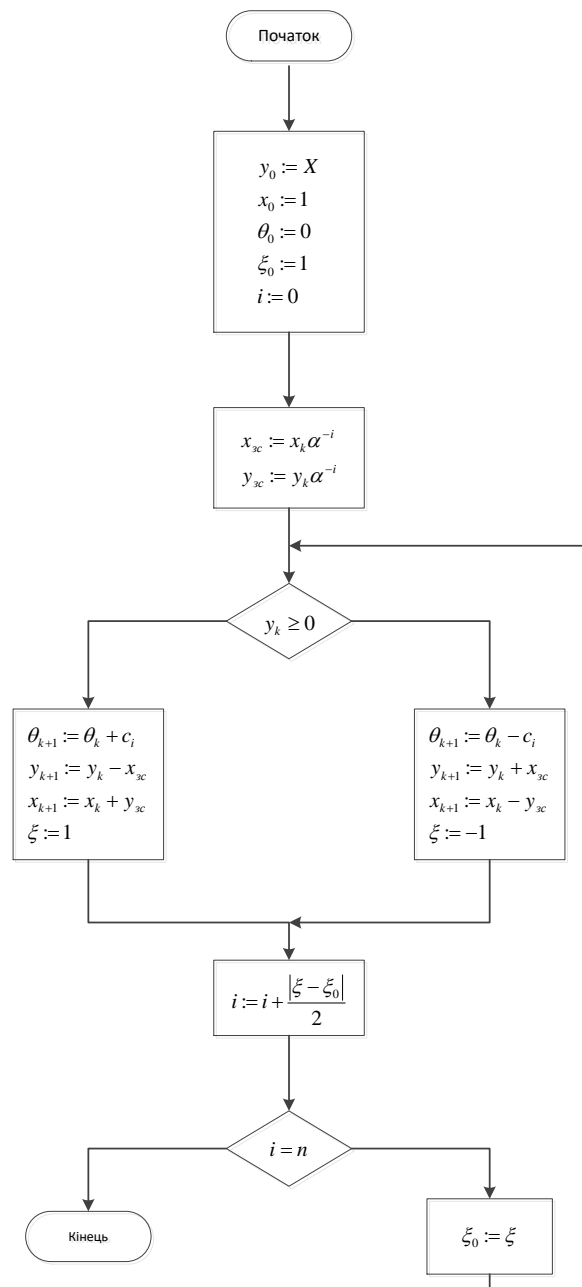


Рис. 2. Блок-схема алгоритму обчислення arctan X

Операція «вектор» одночасно з обчисленням функції  $\varphi = \arctan(Y_2 / X_2)$  дає змогу обчислювати і величину  $\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}$ , то подальша корекція значень (20) – скалярного і (21) – векторного добутків виконується просто. Таким чином, для одночасного обчислення скалярного і векторного добутку за методом «цифра за цифрою» необхідно виконати чотири операції.

*Полярні координати*

Використовуючи операцію розкладання вектора з координатами  $\rho_1, (\varphi_1 - \varphi_2)$ , отримаємо

$$\begin{aligned}
 X &= K\rho_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2); \\
 Y &= -K\rho_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2).
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

Виконуючи операцію множення отриманих значень  $X$  і  $Y$  на величину  $\rho_2$ , знаходимо значення скалярного і модуля векторного добутків усього за три операції. Аналогічний підхід можна застосувати для обчислення змішаних (векторно-скалярних) і подвійних векторних добутків.

Під час розв'язання низки навігаційних задач і задач керування рухом часто зустрічаються операції просторових перетворень координат. Вони можуть бути представлені як сукупність векторних операцій на площині, так і в безпосередньому вигляді. Розглянемо питання безпосереднього виконання векторних операцій у тривимірному просторі за методом «цифра за цифрою» [8].

Нехай в одній площині вектор  $(X_1, Y_1)$  обертається на кут  $\varphi$ , а в іншій –  $(X_2, Y_2)$  на кут  $\psi$ . Тоді:

$$\begin{pmatrix} X'_1 \\ Y'_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix}; \quad (23)$$

$$\begin{pmatrix} X'_2 \\ Y'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Прямий добуток матриць (23), (24):

$$\begin{pmatrix} X'_1 & X'_2 \\ Y'_1 & Y'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 C_2 & S_1 C_2 & C_1 S_2 & S_1 S_2 \\ -S_1 C_2 & C_1 C_2 & -S_1 S_2 & C_1 S_2 \\ -C_1 S_2 & -S_1 S_2 & C_1 C_2 & S_1 C_2 \\ S_1 S_2 & -C_1 S_2 & -S_1 C_2 & C_1 C_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 & X_2 \\ Y_1 & Y_2 \end{pmatrix}, \quad (25)$$

де  $S_1, C_1$  дорівнюють відповідно  $\sin \varphi, \cos \varphi$ , а  $S_2, C_2 - \sin \psi, \cos \psi$ .

Коефіцієнт деформації вектора в цьому випадку дорівнює

$$K^2 = 2 \prod_{i=0}^n (1 + \alpha^{-2i})^{\alpha-1}$$

Співвідношення (25) реалізуються за ітераційними формулами:

$$\|z_{k+1}\| = \begin{pmatrix} 1 & \xi_{\varphi k} \alpha^{-i} & \xi_{\psi k} \alpha^{-i} & \xi_{\varphi k} \xi_{\psi k} \alpha^{-2i} \\ -\xi_{\varphi k} \alpha^{-i} & 1 & -\xi_{\varphi k} \xi_{\psi k} \alpha^{-2i} & \xi_{\psi k} \alpha^{-i} \\ -\xi_{\psi k} \alpha^{-i} & -\xi_{\varphi k} \xi_{\psi k} \alpha^{-2i} & 1 & \xi_{\varphi k} \alpha^{-i} \\ \xi_{\varphi k} \xi_{\psi k} \alpha^{-2i} & \xi_{\psi k} \alpha^{-i} & -\xi_{\varphi k} \alpha^{-i} & 1 \end{pmatrix} \times \|z_k\|, \quad (26)$$

де  $\xi_{\varphi k} = \operatorname{sgn} \varphi_k, \xi_{\psi k} = \operatorname{sgn} \psi_k, \varphi = \sum_{k=0}^m \xi_{\varphi k} \arctan \alpha^{-i}$

$$\psi = \sum_{k=0}^m \xi_{\psi k} \arctan \alpha^{-i}, \quad m = n(\alpha - 1). \quad (27)$$

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Виконано аналіз програмно-алгоритмічних методів та обчислювальних аспектів виконання операцій перетворення координат точок на площині. Розглянуто та проаналізовано методи обчислення трансцендентних функцій (прямі та обернені тригонометричні функції, квадратні корені) функцій: табличні методи; апроксимаційні методи; таблично-алгоритмічні методи; ітераційні методи. Основну увагу приділено таблично-алгоритмічним методам обчислення полярних координат, визначення відстані та лінійних розмірів об'єктів, їх кутового положення на основі функцій квадратного кореня та арктангенса. Також розглянуто ітераційний метод «цифра за цифрою» (метод Cordic) для обчислення афінних перетворень та переходу між прямокутною та полярною системами координат.

**Список використаної літератури:**

1. *Gonzalez Rafael C. Digital Image Processing / Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods.* – 4rth edition. – Pearson Education Limited, 2018. – 1022 p.
2. *Forsyth David Computer Vision: A Modern Approach / David Forsyth, Jean Ponce.* – 2nd edition. – Pearson Education, 2011. – 800 p.
3. *Jeahne B. Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Applications / B.Jeahne.* – 2nd edition. – CRC Press LLC, 2004. – 571 p.
4. Devising a method for measuring the motion parameters of industrial equipment in the quarry using adaptive parameters of a video sequence / *Y.Podchashynskiy, O.Luhovykh, V.Tsyporenko, V.Tsyporenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 6, No. 9 (114). – P. 32–46 [Electronic resource]. – Access mode : <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/248624>.
5. *Korobiichuk I. Correlation mathematical model of video images with measuring information about geometrical parameters / I.Korobiichuk, Y.Podchashinskiy* // 25th International Conference on Methods and Models in

- Automation and Robotics (MMAR), 23–26 Aug. – 2021. – P. 59–63 [Electronic resource]. – Access mode : <https://ieeexplore.ieee.org/document/9528487>.
6. Дуднік А.С. Наукові основи комп'ютеризованих сенсорних систем вимірювання механічних величин : дис. доктора техн. наук : 05.11.01 / Дуднік А.С. ; Національний авіаційний університет ; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2019. – 276 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27395/1/Dudnik\\_diss.pdf](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27395/1/Dudnik_diss.pdf).
  7. Борецький Т.Р. Розробка та реалізація методів обчислення елементарних функцій на основі програмних та апаратних засобів : дис. ... к.т.н. / Борецький Т.Р. – Львів, 2019.
  8. Мороз Л.В. Теорія та швидкодіючі апаратно-програмні засоби ітераційних методів обчислення функцій : автореф. дис. ... д.т.н. / Л.В. Мороз. – Львів, 2013.
  9. CORDIC IP Core User's Guide / Lattice Semiconductor Corp. – August, 2012. – 37 p.
  10. Patent № 5,568,600 United States. Method and apparatus for rotating and scaling images / James T.C., Jackson N.J. – Oct. 22, 1996.
  11. Визначення геометричних характеристик промислових виробів з природного каменю на основі цифрової обробки їх відеозображень / В.В. Гніліцький, Є.С. Купкін, Ю.О. Подчашинський, Л.О. Чепюк // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2005. – № 6/2 (18). – С. 98–102.
  12. Гніліцький В.В. Визначення параметрів цифрових обчислювальних пристроїв для обробки вимірювальної інформації про геометричні ознаки об'єктів / В.В. Гніліцький, Ю.О. Подчашинський, Л.О. Чепюк // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – № 1/2 (19). – С. 145–148.
  13. Чепюк Л.О. Порівняння методів побудови швидкодіючих цифрових обчислювальних пристроїв для визначення геометричних ознак виробів з природного каменю / Л.О. Чепюк // Інформаційно-комп'ютерні технології: стан, досягнення та перспективи розвитку : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 14–15 листопада. – Житомир, 2019. – С. 78–79.
  14. Чепюк Л.О. Визначення оптимальних параметрів цифрових обчислювальних пристроїв для визначення геометричних ознак виробів з природного каменю / Л.О. Чепюк // Інформаційно-комп'ютерні технології : тези XI Міжнародної науково-технічної конференції, 9–11 квітня. – Житомир, 2020. – С. 133–134.
  15. Єфремов Ю.М. Застосування методу cordic в спеціалізованих обчислювальних пристроях / Ю.М. Єфремов, Л.О. Чепюк, В.В. Чепюк // Інформаційно-комп'ютерні технології : тези XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Житомирська політехніка», 30–31 березня. – Житомир, 2023. – С. 156–157.

#### References:

1. Gonzalez, Rafael C. and Woods', Richard E. (2018), *Digital Image Processing*, 4rth edition, Pearson Education Limited, 1022 p.
2. Forsyth, David and Ponce, Jean (2011), *Computer Vision: A Modern Approach*, 2nd Edition, Pearson Education, 800 p.
3. Jeahne, B. (2004), *Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Applications*, 2nd edition, CRC Press LLC, 571 p.
4. Podchashynskiy, Y., Luhovykh, O., Tsyporenko, V. and Tsyporenko, V. (2021), «Devising a method for measuring the motion parameters of industrial equipment in the quarry using adaptive parameters of a video sequence» *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 9 (114), pp. 32–46, [Online], available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/248624>
5. Korobiichuk, I. and Podchashynskiy, Y. (2021), «Correlation mathematical model of video images with measuring information about geometrical parameters», *25th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR*, 23–26 Aug, pp. 59–63, [Online], available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9528487>
6. Dudnik, A.S. (2019), *Naukovi osnovy kompiuteryzovanykh sensorykh system vymiryuvannya mekhanichnykh velychyn*, D.Sc. Thesis of dissertation, 05.11.01, Natsionalnyi aviatsiynyi universytet, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho», Kyiv, 276 p., [Online], available at: [http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27395/1/Dudnik\\_diss.pdf](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27395/1/Dudnik_diss.pdf)
7. Boretskyi, T.R. (2019), *Rozrobka ta realizatsiia metodiv obchyslennia elementarnykh funktsii na osnovi prohramnykh ta aparatnykh zasobiv*, Ph.D. Thesis of dissertation, Lviv.
8. Moroz, L.V. (2013), *Teoriia ta shvydkodiuchi aparatno-prohramni zasoby iteratsiinykh metodiv obchyslennia funktsii*, Abstract of the D.Sc. dissertation, Lviv.
9. «Lattice Semiconductor Corp.» (2012), *CORDIC IP Core User's Guide*, August, 37 p.
10. James, T.C. and Jackson, N.J. (1996), *Patent 5,568,600, United States, Method and apparatus for rotating and scaling images*, Oct. 22.
11. Hnilitskyi, V.V., Kupkin, Ye.S., Podchashynskiy, Yu.O. and Chepiuk, L.O. (2005), «Vyznachennia heometrychnykh kharakterystyk promyslovykh vyrobiv z pryrodnoho kameniu na osnovi tsyfrovoy obrobky yikh videozobrazhen», *Skhidno-Yevropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii*, No. 6/2 (18), pp. 98–102.
12. Hnilitskyi, V.V., Podchashynskiy, Yu.O. and Chepiuk, L.O. (2006), «Vyznachennia parametriv tsyfrovyykh obchysliuvalnykh prystroiv dlia obrobky vymiryuvalnoi informatsii pro heometrychni oznaky ob'iektiv», *Skhidno-Yevropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii*, No. 1/2 (19), pp. 145–148.
13. Chepiuk, L.O. (2019), «Porivniannia metodiv pobudovy shvydkodiuchykh tsyfrovyykh obchysliuvalnykh prystroiv dlia vyznachennia heometrychnykh oznak vyrobiv z pryrodnoho kameniu», *Informatsiino-kompiuterni tekhnolohii: stan, dosiahnennia ta perspektyvy rozvytku*, zbirnyk tez dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh, 14–15 lystopada, Zhytomyr, pp. 78–79.

14. Chepiuk, L.O. (2020), «Vyznachennia optymalnykh parametriv tsyfrovyykh obchysliuvalnykh prystroiv dlia vyznachennia heometrychnykh oznak vyrobiv z pryrodnoho kameniu», *Tezy XI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Informatsiino-kompiuterni tekhnologii»*, 9–11 kvitnia, Zhytomyr, pp. 133–134.
15. Yefremov, Yu.M., Chepiuk, L.O. and Chepiuk, V.V. (2023), «Zastosuvannia metodu cordic v spetsializovanykh obchysliuvalnykh prystroiakh», *Tezy XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Informatsiino-kompiuterni tekhnologii»*, 30–31 bereznia, Zhytomyrska politehnika, Zhytomyr, pp. 156–157.

**Подчашинський** Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-8344-6061>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- інформаційні системи та технології.

**Чепюк** Ларіна Олексіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-8072-8186>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- інформаційні системи та технології.

**Чепюк** Віталій Володимирович – студент групи ЗІПЗм-22-1 Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- математичне моделювання та обчислювальні методи;
- інформаційні системи та технології.

**Єфремов** Юрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-1249-5560>.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання та обчислювальні методи;
- інформаційні системи та технології.

**Лугових** Оксана Олександрівна – старший викладач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0001-6138-8991>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- системний аналіз складних технічних систем.

**Podchashinskiy Yu.O., Chepiuk L.O., Chepiuk V.V., Yefremov Yu.M., Luhovykh O.O.**

#### **Analytical review of software-algorithmic methods of processing of measuring information about geometrical parameters of objects in images**

The paper considers software-algorithmic methods and computational aspects of operations of transformation of coordinates of points in the plane. These procedures include: finding new rectangular coordinates of a vector when rotating it (or a coordinate system) by some angle in the image plane; transforming vector coordinates from a rectangular coordinate system to a polar one and vice versa. In this case vector coordinates correspond to coordinates of some object point on the image. This point can be an element of the object contour or its centre of mass. Transformations of coordinates of these points allow describing translational motion of the centre of mass and rotational motion of the object around the centre of mass. Accordingly, the considered coordinate transformations are used in determination of geometrical parameters of these objects, analytical description of object motion parameters on the basis of affine transformations, development of new methods of image transformation, coding and compression on the basis of intellectual technologies (fractals, artificial neural networks). Execution of coordinate transformation operations requires multiple multiplication operations and calculation of values of transcendental functions (direct and inverse trigonometric functions, square roots). Methods of calculating these functions are considered and analysed: tabular methods; approximation methods; tabular-algorithmic methods; iterative methods. The main attention is paid to tabular-algorithmic methods of calculating polar coordinates, determining the distance and linear dimensions of objects, their angular position on the basis of square root and arctangent functions. The iterative method «digit by digit» (Cordic method) for calculating affine transformations and transition between rectangular and polar coordinate systems is also considered.

**Keywords:** geometric parameters; image; coordinate transformation; table-algorithmic method; iterative Cordic method.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2023.