**УДК: 681.327**

**Я. Г. СКОРЮКОВА, Д. С. МАРКОВ**

# ВИЗНАЧЕННЯ ОРІЄНТАЦІЇ ОСІ ПОВЕРХНІ ОБЕРТАННЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

***Вінницький національний технічний університет,***
***Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна,***
***E-mail: yanina_skor@mail.ru***

**Анотація.** В статті проаналізовані відомі методи визначення орієнтації осі об'єктів для задач технічного зору. Представлений метод визначення орієнтації осі поверхні обертання на основі структурно-зв'язностної моделі. .

**Аннотация.** В статье проанализированы известные методы определения ориентации оси объектов для задач технического зрения. Представленный метод определения ориентации оси поверхности вращения на основе структурно-связностной модели.

**Ключові слова:** система технічного зору, робот-маніпулятор, поверхні обертання, орієнтація осі, структурно-зв'язностна модель зображення.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Досягнення останніх десятиріч в галузі обчислювальної та вимірювальної техніки обумовили появу та швидкий розвиток систем технічного зору. Одна з найпоширеніших галузей застосування таких систем – робототехніка. В різних сферах науки, промисловості та сільського господарства знайшли застосування роботи-маніпулятори. Серед них особливого значення набули роботи, які мають адаптивні властивості, тобто можуть гнучко перебудовувати свої дії у відповідності із інформацією, що сприймається ними. Найбільш типовими для систем технічного зору адаптивних роботів є такі функції: реєстрація наявності об'єкту в полі зору датчика, підрахунок кількості об'єктів, контроль на наявність дефектів, визначення місцеположення та орієнтації об'єктів в робочій зоні, вимірювання геометричних та фізичних параметрів об'єкту, пошук потрібних об'єктів на робочій сцені та багато інших [1]. Система технічного зору робота-маніпулятора постачає системі управління інформацію, яка необхідна для захвату неупорядкованих об'єктів або об'єктів, що знаходяться окремо, але випадково орієнтовані у просторі. При цьому об'єкти можуть різнитися формою, розміром, кольором, текстурою і т. ін. Серед великої кількості зображень, є такі, що представляють собою окремі закономірні поверхні або їх сукупність, в тому числі поверхонь обертання (циліндричні, конічні, сферичні та загального виду).

Одне з завдань системи технічного зору робота-маніпулятора – визначення напрямку осі обертання поверхні деталі. Це дає можливість правильно зорієнтувати щуп маніпулятора відносно деталі і зменшити або взагалі уникнути помилкових маніпуляцій. Актуальність також мають методи визначення орієнтації осі об'єктів, розташованих випадковим чином не тільки в площині, а й у просторі. Прикладом конкретної задачі розпізнавання осі орієнтації поверхні обертання може бути задача вибору деталей роботом-маніпулятором із контейнеру [2]. Також відомо, що при розпізнаванні зображень об'єктів, зазвичай, виникають певні труднощі, що пов'язані з їх лінійними вимірами: поворотом зображення навколо свого центра тяжіння, зміною місцеположення в площині координат [2]. Це призводить до втрати інформації про абсолютне значення ознак об'єкту, що ускладнює його подальшій аналіз. Отже задача розробки методу визначення орієнтації осі поверхні обертання є актуальною.

Вимоги, які висуваються до методів, що розробляються, обумовлюються конкретними задачами, але загальними вимогами є простота реалізації, точність та гнучкість [3 – 5]. Простота передбачає можливість простої як програмної, так і технічної реалізації. Оскільки сучасна елементна база дозволяє використовувати оптоелектронні паралельні обчислювальні структури, то до вимог можна додати ще рівень розпаралелювання операцій при реалізації методу [6]. Точність передбачає можливість визначення орієнтації осі із заздалегідь заданим відхиленням. А гнучкість представляє собою можливість переналаштування методу для типів поверхонь об'єктів іншої форми, розміру, при іншому типі освітлення, з іншим рівнем градацій яскравості та ін.

© Я. Г. СКОРЮКОВА, Д. С. МАРКОВ, 2012

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Найбільш простим підходом є представлення зображення поверхні у вигляді бінарної моделі, обчислення її геометричних характеристик, з яких формується вектор ознак, і співставлення отриманого вектору з векторами еталонних зображень [2-4]. В рамках цього підходу відомі методи, які нормують ознаки за певним правилом (це може бути, наприклад, найбільше чи найменше значення), а потім поелементно порівнюють з еталонними ознаками, або перебирають можливі положення об'єктів з подальшим простим порівнянням з еталоном.

Відомий метод визначення орієнтації осі об'єкту, який пропонує використовувати в якості орієнтирів зображення статистичні моменти [7]. Об'єкт, що досліджується, та еталонний представляються в контурному вигляді. Вихідними даними про зображення є декартові координати їх вузлових точок. Спочатку визначаються координати центрів тяжіння зображення за відомими координатами їх вузлових точок, які, в свою чергу, обчислюються як середнє арифметичне значення точок відповідних масивів. Потім вводяться нові прямокутні системи координат та обчислюються нові координати вузлових точок обох зображень. За певними формулами визначають осьові та центрові моменти, на підставі яких і визначається кут орієнтації об'єкту.

Також відомий метод визначення кута орієнтації плямоподібних зображень [8]. У відповідності з ним бінарне або контурне зображення проектується на дискретне матричне середовище, в якому воно центрується відносно певної точки. Визначається радіус описаного та вписаного в зображення об'єкту кола. Кола розбиваються на сектори. Визначаються площа між дугою меншого кола та контуром і площа між контуром та дугою більшого кола. Фігура обертається послідовно на дискретний кут і для кожного розраховуються певні параметри з використанням обчислених площ. Обчисленні параметри порівнюються з еталонним значенням. В момент збігу відповідних параметрів визначається кількість дискретних поворотів, яка і характеризує кут орієнтації.

Одним з основних недоліків таких методів є необхідність перетворення напівтонового або кольорового зображення об'єкту в бінарне або контурне, що призводить до втрати певної частини інформації. Другий недолік – обмеженість повороту об'єкту площиною, яка паралельна площині зображення, що робить ці методи непридатними для цілого класу задач, де об'єкт, що досліджується, може бути розташований під різними кутами до площини проекції зображення, або поверхня, на який розташований об'єкт, не є ідеально рівною.

Один з відомих методів отримання інформації про орієнтацію об'єкту – метод стереофотометрії, який застосовують до серії зображень [2, 3]. Зображення отримують за допомогою однієї ж тієї камери, але при різному освітленні. При цьому методі положення об'єкту визначають за допомогою гістограми орієнтації частин видимої поверхні. Орієнтація об'єкту у просторі визначається його обертанням в деякій системі координат. Для визначення орієнтації співставляється розширений гаусів образ об'єкту з прототипічним гаусовим образом. Орієнтація осі, що дає найкраще співставлення вважається істиною орієнтацією об'єкту.

До недоліків такого методу можна віднести складність його реалізації і, як наслідок, низьку швидкодію.

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОРІЄНТАЦІЇ ОСІ НА ОСНОВІ ЗВ'ЯЗНОСТНОЇ МОДЕЛІ ЗОБРАЖЕННЯ

Суть методу полягає в тому, що для поверхні, яка досліджується, отримують еталонні зображення для різних напрямків при одному і тому же освітленні. При цьому точність задається кількістю еталонних зображень об'єкту, що є повернутими на певні кути. Вихідне зображення об'єкту, який підлягає дослідженню на визначення його орієнтації, попередньо піддається сегментації для відділення об'єкту від фону. Якщо фон є однорідним та суттєво відрізняється від об'єкту за яскравістю, то операцію сегментації можна опустити. Але в такому випадку еталонні зображення мають бути сформовані на такому же фоні і в такому же масштабі. Напівтонове зображення об'єкту представляється у вигляді матриці, значення елементів якої відповідають рівню яскравості об'єкту в даній точці. Для отриманої матриці $A(M,N)$ формується структурно-зв'язностна модель зображення, яка представляє собою сукупність бінарних зрізів $B^1(M,N)$, $B^2(M,N)$, ..., $B^K(M,N)$, де ($M$, $N$) – розмірність матриці вхідного зображення, а $K$ – значення максимального рівня яскравості [9, 10]. Формування кожного зрізу $B^k(M,N)$ відбувається за правилом:

$$b^k(m,n)=\begin{cases}1, & якщо \quad a\ (m,n)=k\\ 0, & якщо \quad a\ (m,n)\neq k\end{cases} \qquad b^k(m,n)=\begin{cases}1, & якщо \quad a\ (m,n)=k\\ 0, & якщо \quad a\ (m,n)\neq k\end{cases}$$

Отже, математична структурно-зв'язностна модель напівтонового зображення має вигляд:

$$A(M,N)=fun\left[\bigcup_{k=1}^{K}B^{k}(M,N)\right].$$

Для отриманої сукупності зрізів формується функція внутрішньозрізової та міжзрізової зв'язності. Це відбувається шляхом обчислення значень внутрішньозрізової та міжзрізової зв'язності відповідно до кожного зрізу за виразами 1 і 2.

Внутрішньозрізова зв'язаність $\Delta^k$ , що представляє суму зв'язностей (або половину суми) одиничних елементів зрізу і визначається за формулою:

$$\Delta^k=\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\delta^k(m,n)/2, \tag{1}$$

де $\delta^k(m,n)$ - зв'язаність одиничного елементу в межах зрізу.

Для кожних двох зрізів, що є сусідніми розраховується міжзрізова зв'язність:

$$\Delta^{k,k+1}=\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\delta^{k,k+1}(m,n), \tag{2}$$

де $\delta^{k,k+1}(m,n)$ - зв'язаність одиничного елементу з одиничними елементами сусіднього зрізу.

Отриманні результати представляються у вигляді функції внутрішньозрізової зв'язності

$$\Delta(k)=\Delta^1,\Delta^2,...,\Delta^K,$$

та функції міжзрізової зв'язності

$$\Delta'(k\ )=\Delta^{1,2},\Delta^{2,3},...,\Delta^{k-1,k},\Delta^{k,k+1},\Delta^{k+1,k+2},...,\Delta^{K-1,K}.$$

Приклади функцій зв'язності для циліндричних поверхонь різної орієнтації представлені на рис. 1.

Розглянемо випадок, якщо об'єкт, що підлягає маніпуляціям, є просторово відокремленим від інших або його зображення попередньо відсегментоване. Зображення такого об'єкту підлягає тим самим діям, що і еталонні зображення для різних напрямків орієнтації, а саме: зображення розбивається на бінарні зрізи і для кожного з яких складаються функції внутрішньозрізової та міжзрізової зв'язності.

Для отриманих функцій обчислюються кореляційні функції з кожною з еталонних функцій внутрішньозрізової та міжзрізової зв'язності відповідно.

$$f_i(\Delta,\Delta_{em})=\frac{\sum_{k=1}^{N}\left|\Delta(k)-\Delta_{em}(k)\right|}{N},$$

де $f_i(\Delta,\Delta_{em})$ - кореляційна функція для реальної та еталонної функцій внутрішньозрізової зв'язності для *i*-го напрямку. Мінімальне значення отриманої величини вказує на близькість напрямку осі об'єкта, що досліджується, до напрямку еталонного зображення поверхні. Кількість еталонних напрямків буде задавати точність визначення кута осі орієнтації об'єкту. Для покращення точності можна використовувати ітераційний алгоритм.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досліджень було обрано 10 циліндрів різних типів, тобто різного діаметру та висоти. При цьому точка освітлення поверхні залишалась постійною. Надалі, зображення отримувались шляхом обертання циліндру одного типу, фіксуючи його в таких положеннях відносно вертикальної осі: $0^0$, $30^0$, $60^0$, $90^0$, $120^0$ $150^0$, $180^0$. Для кожного з отриманих еталонних зображень було побудовано структурно-зв'язностну модель. Відповідно кожній еталонній моделі були сформовані функції внутрішньозрізової та міжзрізової зв'язності. Так для одного з циліндрів в якості зображення, що досліджується, був обраний циліндр з кутом орієнтації $52^0$, для якого також обчислювались відповідні зв'язності функції. Для цих функцій та еталонних визначалися взаємокореляційні функції. За результатами досліджень було виявлено, що найбільш інформативною є функція міжзрізової зв'язності. Результати обчислень для вказаного циліндру представлені на рис. 2. Як видно, найменше значення взаємокореляційної функції

відповідає напрямку $60^0$. Друге найменше значння – $30^0$. Це означає, що шукане значення знаходиться в цих межах – від $30^0$ до $60^0$. Надалі, розглядалися еталоні зображення циліндрів під кутами $30^0$ , $40^0$, $50^0$, $60^0$. Результати взаємокореляційних функцій представлені на рис.3. Як видно з рис. 3 найменьшим значенням є значення кута $50^0$.

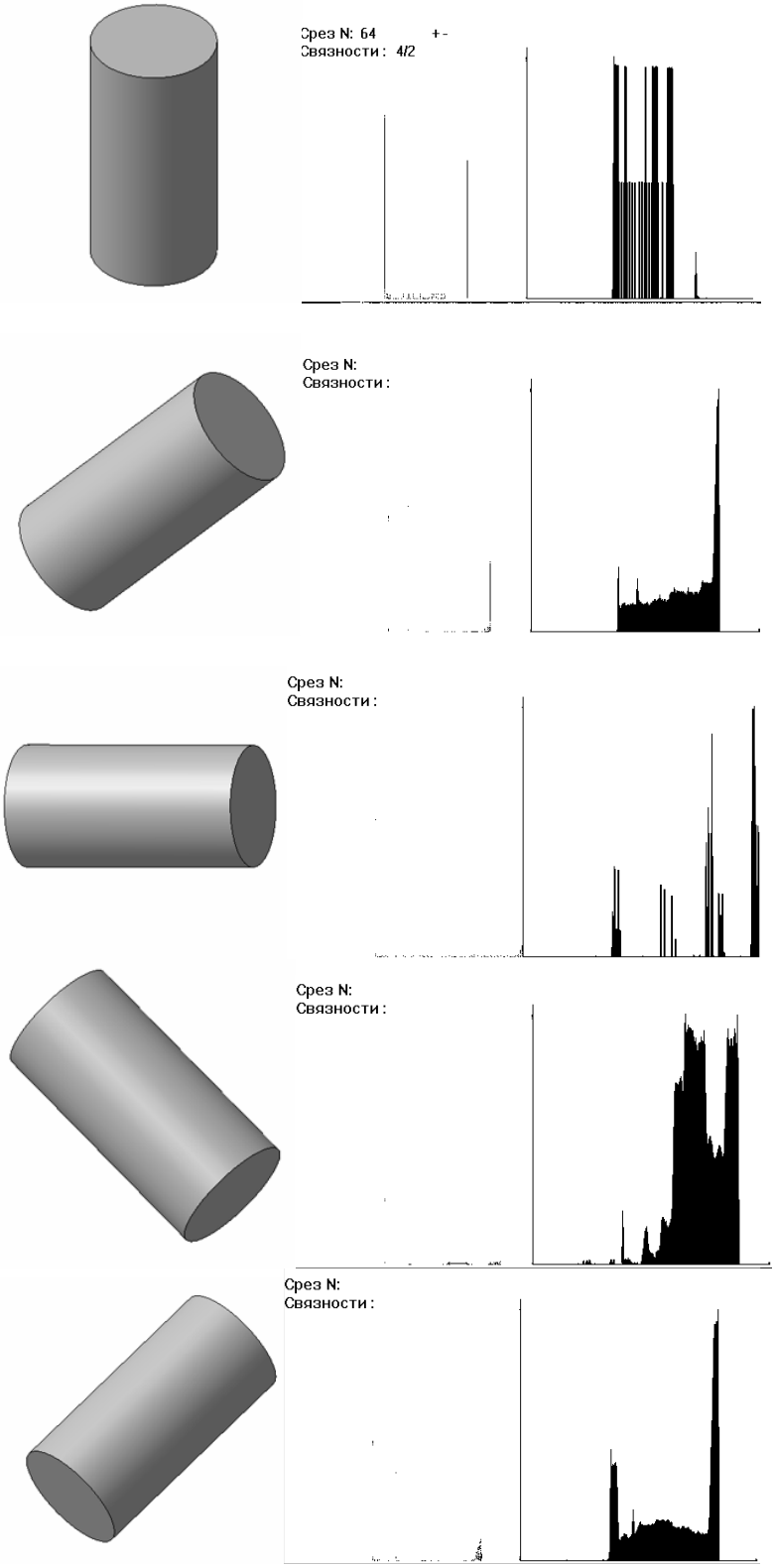


Рис. 1. Приклади зображень циліндричних об’єктів різних напрямків орієнтації та відповідних функцій зв’язності

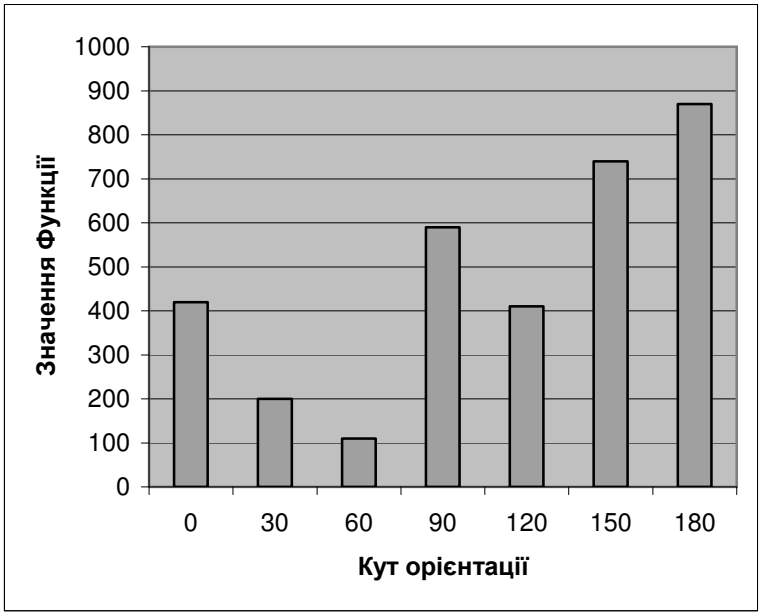


Рис. 2. Приклад гістограми значень взаємокореляційної функції для еталоних зображень циліндричного об'єкту різних напрямків орієнтації та експериментального об'єкту

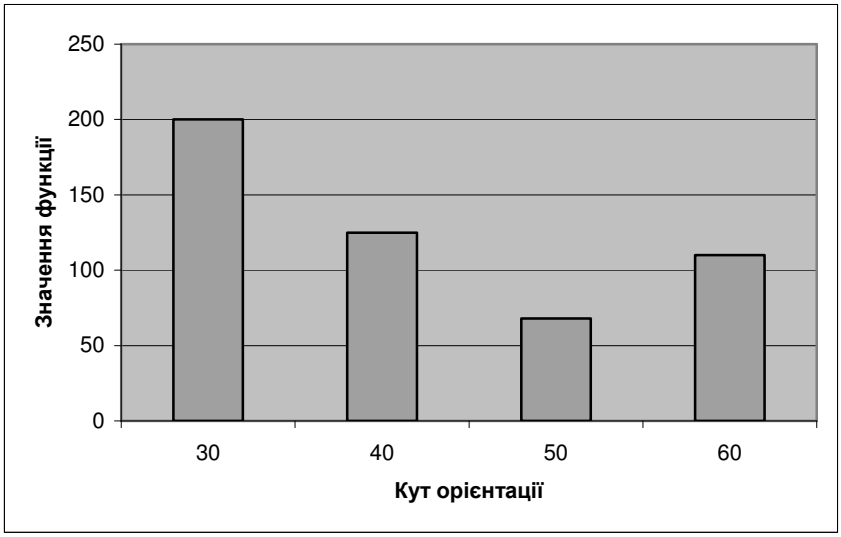


Рис. 3. Приклад гістограми значень взаємокореляційної функції для еталоних зображень циліндричного об'єкту різних напрямків орієнтації та експериментального об'єкту

## ВИСНОВКИ

Розроблено метод визначення кута орієнтації осі поверхні обертання при постійному фіксованому джерелі освітлення на основі структурно-зв'язностної моделі. Цей метод є простим в реалізації, і може бути реалізований як програмно, так і технічно на оптоелектронних паралельних обчислювальних структурах. Метод передбачає можливість визначення орієнтації осі із заздалегідь заданим відхиленням. При цьому метод є гнучким. адже може бути переналаштованим для інших типів поверхонь.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на застосування методу для різних типів поверхонь (в тому числі гранних та кривих) в задачах розпізнавання та класифікації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лысенко О. Н. Машинное зрение от SICK/IVP // Компоненты и технологии. – 2007. - № 1. – С. 80-85
2. Хорн Б. К. П. Зрение роботов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989, - 487 с.
3. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с., 8с. ил. ISBN 0-13-030796-3 (англ), ISBN 5-94774-384-1 (русск.)

4. Цифровая обработка зображений. Р. Гонсалес, Р. Вудс / Москва : Техносфера, 2005. – 1072 с. ISBN 5-94836-028-8
5. Техническое зрение роботов / В. И. Мошкин, А. А., Петров, В. С. Титов, Ю. Г. Якушенков; под общ. ред. Ю. Г. Якушенкова. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.: ил. ISBN 5-217-00467-3
6. Кормановський С.І., Кожем'яко В.П. Око-процесорна обробка та розпізнавання образної інформації за геометричними ознаками. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 160 с. – ISBN 978-966-641-240-2
7. Мамедов Р. К., Алиев Т. Ч. Определение ориентации объектов системами технического зрения. Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия, Баку, Азербайджан, електронний ресурс: www.telmanaliev.az/pci2010/doc/_2-12ru.doc
8. Кормановський С. І., Мельник О. П., Поплавський О. А. // Визначення параметрів та кута орієнтації плямоподібних зображень // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. - №1. – С. 58-60
9. Тимченко Л. І., Скорюкова Я. Г., Тишківська В. О. Сегментація зображень об'єктів за ознаками зв'язаності для задач технічного зору // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2004. – №2. – С.70-72
10. Сегментація напівтонових зображень. Скорюкова Я. Г., Железняк А. Л., Тимченко Л. І., Стасюк О. І., Марков С. М. Монографія. – К.: ДЕТУ, 2008. – 144 с.

Надійшла до редакції 8.06.2012р.

**СКОРЮКОВА ЯНІНА ГЕРМАНІВНА – к.т.н., доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.**

**МАРКОВ ДЕНИС СЕРГІЙОВИЧ – студент групи 3СІ-08, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.**