

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Сівак Єлизавета Михайлівна

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ
КАНОНІЧНИХ ФОРМ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЦЕНТРАЛЬНИХ МОМЕНТІВ ЇХ ЗОБРАЖЕНЬ**

05.01.01 - Прикладна геометрія, інженерна графіка

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1997



00737999 (1)

Дисертаційне зруччє.

Роботу виконано в Харківському державному політехнічному університеті

Наукові керівники: - доктор технічних наук, професор
Куценко Леонід Миколайович

- кандидат технічних наук, доцент
Бобов Сергій Володимирович

Офіційні опоненти: - академік АН Вищої школи України,
заслужений працівник Вищої школи,
доктор технічних наук, професор
Павлов Анатолій Володимирович,

- кандидат технічних наук, професор
Седлецька Наталя Іванівна

Провідна організація: Український науково-дослідний інститут металів

Захист відбудеться 29 жовтня 1997 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.18.06 у Київському державному технічному університеті будівництва і архітектури за адресою:

252037 Київ - 37, Повітрофлотський просп., 31, ауд. 319

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського державного технічного університету будівництва і архітектури.

Автореферат розіслано 24 вересня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради Д 01.18.06
кандидат технічних наук, доцент

Плюський В.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Розпізнавання образів є одним з головних розділів інформатики, що знаходить широке застосування в сучасних комп'ютерних технологіях обробки різноманітної геометричної інформації. Так, велике значення алгоритми розпізнавання образів набувають в робототехніці (при моделюванні зору), в авіації (для систем навігації), в хімії (при синтезі нових матеріалів), в медицині (для аналізу рентгенівських зображень та іридіагностики), тощо. Існує значна кількість розробок у галузі розпізнавання, серед яких чи не найважливішими є методи розпізнавання просторових геометричних об'єктів.

Постановка задачі: скласти для ЕОМ алгоритм, який дозволив би виявити один з наперед позначених об'єктів серед даної послідовності у тому числі і просторових геометричних об'єктів. Вважається, що вхідну інформацію про об'єкти умовний спостерігач отримує у вигляді певної кількості телевізійних растрових зображень (статичних картинок). Крім того вважається, що обробку геометричної інформації спостерігач здійснює на комп'ютері з обмеженим об'ємом оперативної пам'яті.

Це обмеження не дозволяє зберігати в пам'яті комп'ютера інформацію про позначений об'єкт у вигляді набору графічних файлів - його графаретів-фотознімків. Останнє зауваження є суттєвим; адже воно примушує провадити пошук інших методів кодування графічної інформації, сприятливих для розв'язання згаданої проблеми. Саме *розробка способів представлення та аналізу графічної інформації про об'єкт, який треба розпізнати, і складає предмет досліджень в галузі прикладної геометрії та комп'ютерної графіки.*

Першим етапом в алгоритмах розпізнавання звичайно є "впізнавання" геометричного об'єкта - тобто його *ідентифікація*. Характерною ознакою цього етапу є значна швидкодія відповідного алгоритму, спроможного діяти в реальному часі. Але така продуктивність алгоритму часто досягається завдяки свідомому зниженню його інформаційності. Тому на виході алгоритму ідентифікації традиційно одержується лише два значення: "так" або "ні", в залежності від того, "впізнав" чи "не впізнав" алгоритм даний об'єкт. У разі "так" далі в дію вступають більш інформаційні (але менш швидкодіючі) алгоритми "класичного" розпізнавання, які і довершують розв'язок задачі. Тому *актуальною* є тематика, пов'язана з розробкою нових алгоритмів ідентифікації просторових геометричних об'єктів, які потенційно можуть передувати відомим алгоритмам розпізнавання в різноманітних технологічних впровадженнях.

При розробці алгоритмів ідентифікації суттєве значення має метод опису графічної інформації про об'єкт, який треба розпізнати. Адже цей метод повинен надати алгоритму такий же об'єм геометричної інфор-

мації, як і певна (порядку кількох сотень) кількість телевізійних "картинок". В алгоритмах ідентифікації ознаками об'єктів можна з'ясувати за допомогою *методу центральних моментів*. Але найслабкішою складовою частиною цього методу є опис "тіні" просторового геометричного об'єкта, яку той відкидає на картинну площину. Тому виникла думка модифікувати метод центральних моментів за допомогою R -функцій - як математичного апарату, що дає змогу описувати компоненти проєкціонування рівняннями у неявному вигляді.

Мета роботи полягає в створенні теоретичної основи та алгоритмічної бази для комп'ютерних програм ідентифікації геометричних об'єктів, які обмежені канонічними поверхнями.

Для досягнення головної мети досліджень у дисертації поставлені такі **основні задачі**:

- розробити придатний для інженерної практики метод опису у вигляді нерівності обрису тіні даного об'єкту, коли:
 - а) об'єкт нерухомий, картинна площина рухома,
 - б) об'єкт рухомий, картинна площина нерухома;
- скласти алгоритм обчислення значень центральних моментів фігури на площині, що співпадає з тінню даного об'єкту;
 - дослідити ознаки (у вигляді послідовності центральних моментів), що характеризують геометричну форму обрису тіні даного об'єкту;
 - скласти алгоритм обчислення ряду послідовностей центральних моментів для різних допустимих напрямів проєкціонування;
 - розробити метод виявлення наперед позначеного об'єкта серед декількох об'єктів, що представлені кадрами растрових зображень;
 - скласти алгоритм ідентифікації реального геометричного об'єкта.

Методика досліджень. В роботі використовується математичний апарат R -функцій, що дає змогу описувати просторові геометричні об'єкти та їх проєкції рівняннями у неявному вигляді. Застосовуються положення прикладної геометрії, теорії моментів, чисельних методів.

Теоретичною базою досліджень послужили роботи вчених:

- в галузі геометричного моделювання відображень В.Є. Михайленка, А.В.Павлова, В.М.Найдиша, В.С.Обухової, О.Л.Підгорного, С.М.Ковальова, К.О.Сазонова, Л.М.Куценка, А.М.Підкоритова;
- в галузі розпізнавання образів та методу моментів І.А.Скидана, А.І.Петренка, Ю.М.Ковальова, В.П.Іванова, В.І.Бугайова;
- в галузі геометричного та аналітичного моделювання об'єктів за допомогою рівнянь у неявному вигляді В.О.Анпілогової, Ю.І.Бадаєва, В.Л.Рвачова, Н.І.Седельської, І.Б.Сіроджи, Ю.Г.Стоянів;
- в галузі розробки конкретних алгоритмів розпізнавання Т.Л.Руденко, Н.Б.Шульгіної, М.І.Шлезінгера, Ю.І.Журавльова, М.К.Хью, В.І.Васильєва.

Наукову новизну роботи має метод ідентифікації геометричних об'єктів канонічної форми, складовими якого є:

- нове визначення оператора відображення, який дозволяє одержати на картинній площині рівняння в неявному вигляді обрисів ортогональної проєкції просторового геометричного об'єкта (описаного також рівнянням в неявному вигляді);

- нове геометричне пояснення можливості співставлення геометричної форми фігури з ознаками у вигляді послідовності її центральних моментів;

- новий метод порівняння наперед позначеного об'єкта з об'єктами, які представлені кадрами растрових зображень.

Вірогідність та обґрунтованість одержаних результатів підтверджується доведенням аналітичних залежностей та графічними зображеннями обрисів для тестових прикладів, а також розрахунками реальної задачі ідентифікації в процесі впровадження методу в практику.

Практичне значення дисертації полягає в спроможності на її теоретичній базі розробляти та впроваджувати в реальну практику алгоритми ідентифікації просторових геометричних об'єктів, які описані рівняннями в неявному вигляді.

На захист виносяться положення, які складають наукову новизну результатів досліджень, а також PASCAL-програмне забезпечення ідентифікації просторових геометричних об'єктів.

Реалізація роботи виконана в Українському науково - дослідному інституті металів (м.Харків) при проєктуванні системи маніпуляторів для сортування металовиробів на стрічці конвейера. Реалізація підтверджується довідкою про використання запропонованої у роботі методики.

Обсяг публікацій за темою роботи складає 6 найменувань.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 200-річчю нарисної геометрії "Сучасні проблеми геометричного моделювання" (м.Мелітополь), а також на наукових семінарах провідних кафедр графічного профілю вищих технічних навчальних закладів України (у Києві, Мелітополі, Дніпропетровську, Харкові).

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, трьох глав, висновку, списку літератури із 143 найменувань та додатку. Робота містить 85 сторінок машинописного тексту та 56 рисунків, побудованих за допомогою комп'ютера.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність досліджень, проведено критичний огляд літературних джерел, сформульована мета та задачі дисертаційної роботи, її наукова новизна та практичне значення.

В **першій главі** дисертації розглядаються теоретичні основи методу ідентифікації геометричного об'єкту X канонічної форми серед ряду об'єктів A, B, C, \dots способом обчислення центральних моментів його зображень.

Геометричним об'єктом канонічної форми в роботі вважається об'єкт, побудований за допомогою логічних операцій об'єднання, перетину та доповнення, здійсненими над елементарними об'єктами, такими як циліндри, конуси, паралелепіпеди, еліпси, тощо. Геометричними об'єктами канонічної форми є деякі поверхні обертання.

В роботі прийняті такі припущення:

- оскільки X є об'єктом канонічної форми, то його завжди можливо описати за допомогою R -функцій у вигляді нерівності $F(x, y, z) \geq 0$;
- спостерігач N та об'єкти A, B, C, \dots для ідентифікації належним чином взаємно переміщуються у просторі;
- вхідну інформацію про кожний з об'єктів N одержує у вигляді певної кількості *статичних* (телевізійних) растрових зображень;
- зображення будується за допомогою паралельного проєкціювання.

Процес ідентифікації складається з трьох етапів.

1. *Формування трафарету зображення об'єкта X* . Об'єкт X кодується за допомогою R -функцій у вигляді рівняння (або нерівності). Зображення будується на основі паралельного проєкціювання. Можливі варіанти: а) спостерігач нерухомий, об'єкти рухомі; б) спостерігач рухомий, об'єкти нерухомі. Для одержаного зображення (як фігури) обчислюється послідовність значень центральних моментів. Ця інформація і являє собою *трафарет зображення об'єкта X* для даного ракурсу спостереження.

2. *Одержання зображень кожного з послідовності реальних об'єктів*. Ця операція звичайно здійснюється апаратно за допомогою телевізійних камер. Можливий варіант, коли зображення синтезовано в комп'ютері за допомогою графічного редактора. Графічна інформація заноситься в пам'ять комп'ютера. Для кожного зображення (як плями) обчислюється послідовність значень центральних моментів. Ця інформація несе в собі дані про зображення об'єктів ряду A, B, C, \dots для даного ракурсу спостереження.

3. *Виявлення об'єкту X шляхом "суміщення" даних про зображення*. Під "суміщенням" будемо розуміти порівняння відповідних значень

центральных моментів фігури (зображення об'єкту X) та плям (зображень об'єктів ряду A, B, C, \dots).

В роботі опис ортогонального зображення об'єкту канонічної форми $X: F(x, y, z) > 0$, заданого в декартовій системі координат $Oxyz$, здійснюється за допомогою R -функцій. Мається на увазі, що обрис об'єкта X (наприклад, на площині Oxy) можна розглядати як об'єднання N ортогональних проєкцій перерізів X площинами рівня $z = \text{const}$, розташованими між площинами $z = a$ та $z = b$. Тоді, враховуючи зв'язок між операціями об'єднання та R -диз'юнкцією, обрис наближено можна описати за допомогою нерівності

$$f_N(x, y) \equiv \bigvee_{i=0}^N F\left(x, y, \frac{(N-i)a + bi}{N}\right) \geq 0. \quad (1)$$

В роботах Л.М.Кущенка границю виразу (1) при $N \rightarrow \infty$ запропоновано позначати спеціальним символом $\int_a^b F(x, y, z) dz$ і називати *оператором відображення*. Але для застосування на практиці формули (1) значення N необхідно вибирати досить великим, що є її недоліком. В роботі пропонується метод побудови аналогічної формули опису обрису, при використанні якої значення N можна було б зменшити.

Розглянемо графік функції $z = F(x, y, C)$, яка входить до опису проєкції перерізу об'єкта $X: F(x, y, z) > 0$ площиною рівня $z = C$ (рис.1). Побудуємо допоміжну функцію

$$\Phi_i(x, y) = F(x, y, \frac{(n-i)a + bi}{n}) + \left| F(x, y, \frac{(n-i)a + bi}{n}) \right|.$$

Нехай

$$\Phi_N^* = \sum_{i=1}^N \Phi_i(x, y) \quad (2)$$

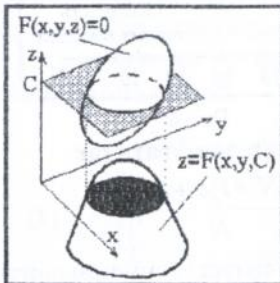


Рис.1

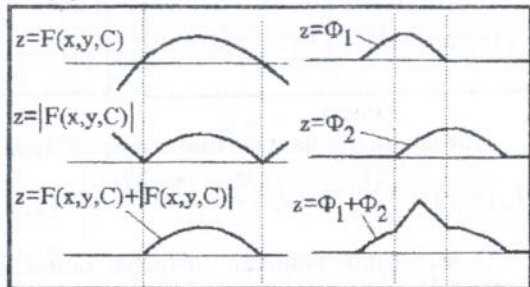


Рис.2

Показано, що опорною областю функції Φ_N^* буде об'єднання опорних областей функцій Φ . На рис. 2 зображено послідовні етапи

побудови графіка функції Φ_N^* при $N=2$. Переходячи при $N \rightarrow \infty$ до границі в виразі (2) $f^*(x,y) = \lim \Phi_N$, маємо доведення такого твердження.

Твердження 1. Нехай задано геометричний об'єкт $X: F(x,y,z) \geq 0$ і його обрис $Q: f(x,y) \geq 0$ на площині Oxy . Функція вигляду

$$f^*(x,y) = \int_a^b F(x,y,z) dz + \int_a^b |F(x,y,z)| dz \quad (3)$$

має властивості: а) $f^*(x,y) > 0$ для всіх точок, для яких $f(x,y) > 0$;
б) $f^*(x,y) = 0$ для всіх точок, для яких $f(x,y) \leq 0$.

Із Твердження 1 маємо, що функція $f^*(x,y)$ відрізнятиметься від функції $f(x,y)$ лише в точках "фону" зображення. Таким чином, функція (3) в певному розумінні є розв'язком важливої для практики задачі граничного переходу в виразі (1) при $N \rightarrow \infty$.

Під час доведення Твердження 1 було з'ясовано зв'язок між "рядом" R -диз'юнкцій (1) та Рімановим оператором інтегрування. На

рис. 3 показано геометричний смисл нерівності $\int_a^b F(x,y,z) dx \geq 0$.

Цим виразом буде описана фігура, яка обмежена лінією обрису геометричного об'єкта $X: F(x,y,z) \geq 0$. Відмічену неспроможність оператора інтегрування описувати результат ортогонального проєкціювання доповнює оператор відображення, розглянутий в роботі.

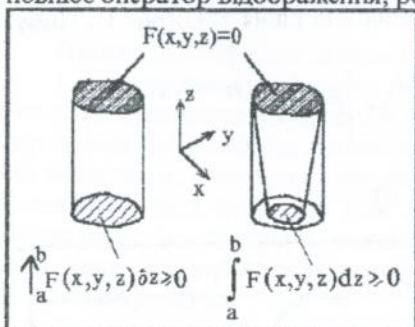


Рис.3



Рис.4

Показано, що на практиці обрис об'єкта слід описувати так:

$$f_N(x,y) = \sum_{i=1}^N \left[F(x,y, \frac{(N-i)a+bi}{N}) + \left| F(x,y, \frac{(N-i)a+bi}{N}) \right| \right] \quad (4)$$

Отже, якщо виникає потреба описати силует геометричного об'єкта $A: F(x,y,z) > 0$, то зробити це можна формально, використовуючи

оператор відображення $\int_a^b F(x,y,z) dz$; в роботі йому надано смисл виразу (4). На рис. 4 представлено графік залежності від N кількості

операцій, необхідних для реалізації відомої формули (1) та запропонованої формули (4).

Рухомим будемо вважати геометричний об'єкт, який здійснює в глобальній системі координат Охуз обертання на кут α навколо осі, напрям якої задано вектором $\{x_n, y_n, z_n\}$. Як картинну використаємо координатну площину Оху.

Твердження 2. Нерівністю $F(x^*, y^*, z^*) \geq 0$ буде описано об'єкт X: $F(x, y, z) \geq 0$, який повернуто в просторі на кут α навколо осі $\{x_n, y_n, z_n\}$.

Тут $x^* = b_{11}x + b_{21}y + b_{31}z$; $y^* = b_{12}x + b_{22}y + b_{32}z$; $z^* = b_{13}x + b_{23}y + b_{33}z$, де $b_{11} = p_1^2 + (1 - p_1^2) c_1$; $b_{12} = p_1 p_2 c_d + p_3 s_1$; $b_{13} = p_1 p_3 c_d - p_2 s_1$;
 $b_{21} = p_1 p_2 c_d - p_3 s_1$; $b_{22} = p_2^2 + (1 - p_2^2) c_1$; $b_{23} = p_2 p_3 c_d + p_1 s_1$;
 $b_{31} = p_1 p_3 c_d + p_2 s_1$; $b_{32} = p_2 p_3 c_d - p_1 s_1$; $b_{33} = p_3^2 + (1 - p_3^2) c_1$.

До того ж тут прийняті позначення $s_1 = \sin \alpha$; $c_1 = \cos \alpha$; $c_d = 1 - \cos \alpha$, а через p_1, p_2 і p_3 позначені напрямні косинуси вектора $\{x_n, y_n, z_n\}$.

Позначимо через $\Phi(x, y, z)$ функціональну залежність між змінними x, y і z , що виражена функцією $F(x^*, y^*, z^*)$.

Твердження 3. Нехай повернутий на кут α навколо осі об'єкт X: $F(x, y, z) \geq 0$ розташовано між двома площинами рівня $z = a$ і $z = b$.

Тоді нерівністю $f(x, y) \equiv \int_a^b \Phi(x, y, z) \delta z \geq 0$ на координатній площині Оху буде описано силует повернутого об'єкта X.

Для опису результату відображення *нерухомого* об'єкта X: $F(x, y, z) \geq 0$ необхідно картинну площину Ψ обрати із умови простоти співвідношень. Вважатимемо, що початком Q локальної системи координат Q_{1uv} на картинній площині є основа перпендикуляра до Ψ , проведеного з початку O глобальної системи координат Охуз. Нехай: а) віссю Qv є ортогональна проєкція осі Oz на площину Ψ , б) вісь Qu спрямована паралельно координатній площині Оху, с) початок локальної системи координат Q_{1uv} в глобальній системі Охуз має координати (x_1, y_1, z_1) .

Твердження 4. Формули зв'язку між обраними системами координат мають вигляд

$$x = x_1 - \frac{y_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} u - \frac{x_1 z_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + (x_1^2 + y_1^2)^2}} v;$$

$$y = y_1 + \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} u - \frac{y_1 z_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + (x_1^2 + y_1^2)^2}} v;$$

$$z = z_1 - \frac{x_1^2 + y_1^2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + (x_1^2 + y_1^2)^2}} v.$$

Твердження 5. На площині Ψ нерівність $\Phi(u, v, p) \geq 0$ буде описана проекція перерізу об'єкта X площиною, яка розташована на відстані p паралельно Ψ . При цьому $\Phi(u, v, p) \equiv F(x'', y'', z'')$, де

$$x'' = x_1 p - \frac{y_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} u - \frac{x_1 z_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + (x_1^2 + y_1^2)^2}} v;$$

$$y'' = y_1 p + \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} u - \frac{y_1 z_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + (x_1^2 + y_1^2)^2}} v;$$

$$z'' = z_1 p - \frac{x_1^2 + y_1^2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + (x_1^2 + y_1^2)^2}} v.$$

Твердження 6. Нехай об'єкт $X: F(x, y, z) \geq 0$ розташовано між двома площинами $p = a$ і $p = b$, паралельними площині Ψ . Тоді за допомогою функції Φ з Твердження 5, нерівністю

$$f(u, v) \equiv \int_a^b \Phi(u, v, p) \delta p \geq 0$$

на картинній площині загального положення буде описано силует об'єкта, що утворено в результаті ортогонального проєкціонування об'єкта $X: F(x, y, z) \geq 0$ на Ψ .

Геометричну форму обриса об'єкта можна характеризувати за допомогою послідовності значень декартових моментів силуету.

В роботі під терміном *момент* мається на увазі значення виразу

$$m_{\alpha\beta} = \sum_{i=0}^K x_i^\alpha y_i^\beta \quad \text{для цілих додатніх } \alpha \text{ і } \beta. \quad \text{Тут } K - \text{кількість пікселів, які}$$

складають зображення фігури. Моменти першого порядку дозволяють обчислювати координати центру ваги фігури:

$$m_{10} = x_C = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^K x_i, \quad m_{01} = y_C = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^K y_i$$

Центральним моментом фігури будемо вважати значення виразу $m_{\alpha\beta}$ при умові, що фігуру пронормовано відносно кола одиничного радіусу, і що центр кола та початок координат співпадають з центром ваги даної фігури. В цьому випадку можна навести геометричне тлумачення суті ідентифікації фігури за допомогою методу моментів.

На площині Oxy розглянемо фігуру G , у якій знайдено координати центру ваги і яку пронормовано так, що G розміщується в колі одиничного радіуса. Сумістимо з центром ваги початок координат системи

координат $Oxyz$. Для наочності розглянемо параболоїд, описаний рів-

нянням $z=x^2+y^2$. Тоді значення суми $m_{22} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (x_i^2 + y_i^2)$ можна

вважати моментом четвертого порядку для фігури G на площині Oxy при умові, що всі N точок (x_i, y_i) належать цій фігурі. На рис. 5 фігура G зображена в колі одиничного радіуса і зафарбована.

З іншого боку, значення величини m_{22} при $N \rightarrow \infty$ чисельно дорівнює об'єму півпростору $z > 0$, що розташований під параболоїдом і всередині прямої циліндричної поверхні з контуром фігури G як напрямній.

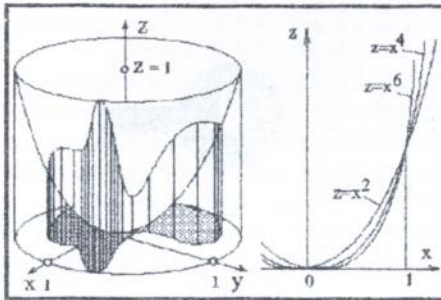


Рис.5

Якщо збільшувати величину степеня полінома в опису параболоїда, то послідовність відповідних поверхонь буде прямувати до прямої кругової циліндричної півповерхні з колом одиничного радіуса в основі. Адже при збільшенні показника степеня n всі параболы виду $y =$

x^n будуть проходити через точку с координатами $(1, 1)$ так, як зображено на рис.5 праворуч.

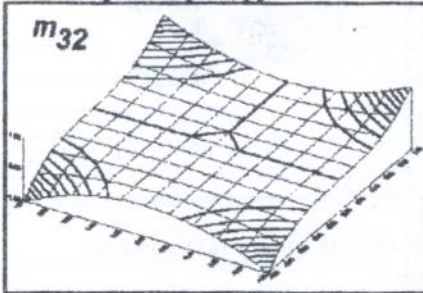


Рис.6

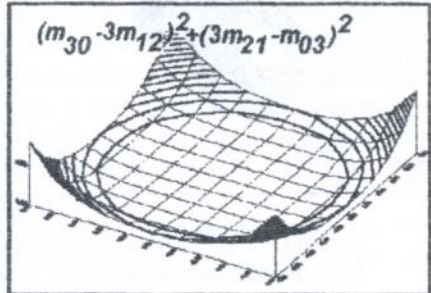


Рис.7

Наведена геометрична інтерпретація дозволяє пояснити причину того, що за допомогою моментів високих порядків можна "спіймати" навіть дрібні деталі зображення, що розташовані біля контуру фігури. В роботі використовується ця властивість методу моментів. На рис. 6 і 7, як приклад, зображено "параболоїди" для функції $z = m_{32}$ та функції з комбінованого моменту $z = (m_{30} - 3m_{12})^2 + (3m_{21} - m_{03})^2$.

В другій главі представлено алгоритмічне забезпечення ідентифікації геометричних об'єктів, заданих на площині та в просторі.

Складено базову PASCAL-програму обчислення величин моментів. На рис.8 наведено приклади зображень фігур та значень їх центральних моментів. Зображення пронормовано так, щоб фігура належала колу одиничного радіуса. При цьому центр кола повинен співпадати з центром ваги фігури.

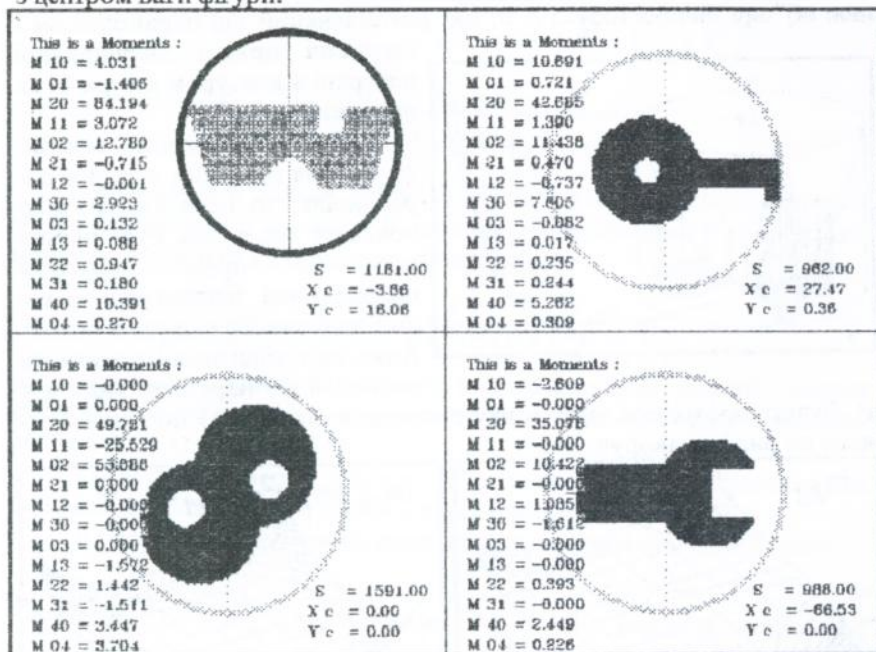


Рис.8

Загальний алгоритм ідентифікації складається з таких етапів.

Підготовка інформації про об'єкт X.

1. В локальній системі декартових координат $Oxyz$ поверхню об'єкта X слід описати рівнянням $F(x,y,z)=0$. При цьому можуть використовуватися як R -функції, так і інші засоби представлення поверхні рівнянням в неявному вигляді.

2. Картинна площина розміщується перпендикулярно відрітку, який з'єднує точку спостереження з точкою геометричного центру об'єкта X .

3. За допомогою R -функцій в системі координат $O''uv$ картинної площини будується опис $f(u,v)=0$ обрису ортогональної "тіні" об'єкта X .

4. В системі $O''uv$ обчислюються координати центра ваги фігури, яка визначається нерівністю $f(u,v)>0$; при цьому фігура може бути ба-

газов'язною. Необхідна величина площі тут характеризується числом пікселів, які складають растрове зображення фігури.

5. Центр ваги фігури розміщується на початку координат картинної площини. Обчислюється радіус мінімального круга з центром на початку координат, якому належить фігура (це досягається шляхом зміни масштабу фігури)

6. Для одержаної в результаті масштабування нормованої фігури обчислюються значення її центральних моментів до N -го порядку.

7. Набір значень центральних моментів для першої вузлової точки спостереження запам'ятовується. Починаючи з п.2 алгоритм повторюється для інших вузлових точок.

8. Одержана інформація занотовується в трафарет - матрицю W розміром $K \times N$, де K -кількість вузлових точок спостереження (кількість стовпців матриці), а N -значення максимального порядку центральних моментів (кількість рядків матриці). Саме ця інформація про об'єкт X є базовою для зберігання в оперативній пам'яті "бортового" комп'ютера.

Ідентифікація об'єкта X серед ряду об'єктів A, B, C, D, \dots

1. З першої точки спостереження за допомогою апаратних засобів телевізійної техніки, по черзі одержують растрове зображення кожного з об'єктів ряду A, B, C, D, \dots

2. Кожне з одержаних зображень нормується (тобто вміщується в круг одиничного радіуса) і для кожного з них обчислюються центральні моменти до N -го порядку.

3. Збереження одержаної інформації здійснюється у вигляді тривимірної матриці розміром $K \times N \times P$. Зміст K та N викладено вище, а P означає кількість об'єктів у послідовності A, B, C, D, \dots . Для наочності тривимірну матрицю можна представити умовним паралелепіпедом в системі координат $Oabc$; при цьому, вдовж осі a -відкладається кількість реальних точок спостереження, вдовж осі b -кількість об'єктів, а вздовж осі c -значення центральних моментів.

4. Значення центральних моментів запам'ятовуються та занотовуються в тривимірну матрицю. При цьому вони розміщуються на відповідній "площині рівня, ортогональній осі a ".

5. Починаючи з п.1 алгоритм повторюється для всіх реальних точок спостереження. В результаті будуть заповнені всі елементи тривимірної матриці.

6. На закінчення необхідно порівняти з трафарет-матрицею W значення елементів тривимірної матриці для кожного з "її перерізів площиною рівня, ортогональною осі b ". Той з елементів послідовності A, B, C, D, \dots для котрого нев'язка порівняння близька до нуля, буде вірогідним об'єктом X . Зауважимо, що вірогідність ідентифікації можна оцінити величиною нев'язки порівняння.

Наведений алгоритм розрахований на використання телевізійної техніки (відеокамери) для введення в комп'ютер графічної інформації. При її відсутності, а також у випадках розробки та налагодження алгоритмів ідентифікації просторових геометричних об'єктів, можна запропонувати інший спосіб введення інформації. Він базується на використанні потужного графічного редактора - наприклад автоматичної тривимірної студії Autodesk 3D Studio.

Тоді "невідомий" для алгоритму ідентифікації об'єкт слід змоделювати в комп'ютері графічними засобами 3D Studio. Одержане на екрані зображення об'єкта (тобто його силует) можна використовувати як вхідну графічну інформацію для алгоритму ідентифікації. При цьому, що важливо, кількість ракурсів спостереження об'єкта практично необмежена.

З зображеннями діють так, ніби вони надійшли ззовні комп'ютера. Кожне з одержаних зображень "захоплюється" з екрану за допомогою програми PchGrab і "перекрашується" в колір фону та колір "плями" силуету за допомогою графічного редактора (наприклад редактора Paintbrush for Windows).

Далі використовувалась PASCAL - програма FriezeVM, яка дозволяє прочитати "картинку з файлу" в форматі .PCX. При цьому зображення розкодовується, записується в пам'ять і після цього командою PutImage заноситься до відеопам'яті екрану. При цьому є можливість підрахувати кількість пікселів заданого кольору. Інакше кажучи - оцінити площу одержаного силуету. Далі зображення нормується (тобто розміщується в колі одиничного радіуса), і для кожного з них обчислюються центральні моменти.

На рис. 9а наведено тестовий приклад чотирьох об'єктів для ідентифікації. Складовими є пари паралелепіпедів. На рис. 9б зображено відповідне цьому випадку вікно 3D Studio.

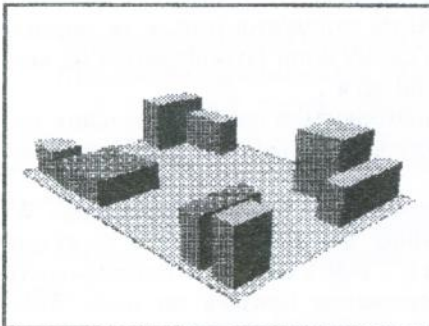


Рис. 9а

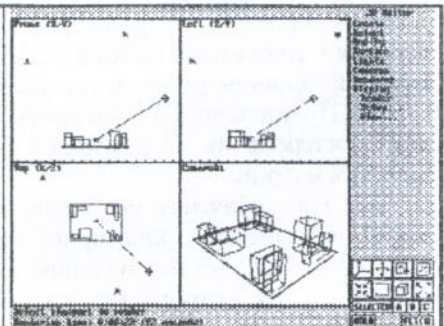


Рис.9б

Нехай об'єкт X , який треба ідентифікувати, розташований на рис.9а в кутку, що праворуч. Попередня підготовка інформації про об'єкт X полягає ось в чому.

В системі декартових прямокутних координат $Oxyz$ за допомогою R -функцій складаємо рівняння $F(x,y,z)=0$ поверхні об'єкта X : $F(x,y,z) \geq 0$. Кожний з паралелепіпедів (розмірами $40 \times 140 \times 80$ та $60 \times 80 \times 160$; відстань між ними 20) розглянемо як перетин смуг простору. Тоді описати паралелепіпеди можна за допомогою R -кон'юнкцій, а описати об'єкт X цілому - за допомогою R -диз'юнкції

$$F(x,y,z) = (f1 \wedge f2 \wedge f3) \vee (f4 \wedge f5 \wedge f6),$$

$$\text{де } f1 = 20^2 - (y - 30)^2; f2 = 70^2 - (x - 70)^2; f3 = 40^2 - (z - 40)^2;$$

$$f4 = 30^2 - (y - 40)^2; f5 = 40^2 - (x - 40)^2; f6 = 80^2 - (y+80)^2;$$

Обираємо певний напрям спостереження. За допомогою оператора відображення (на основі Твердження 6) в системі координат $O'uv$ відповідної картинної площини будемо наближене рівняння $f(u,v)=0$ ортогональної "тіні" об'єкта X .

Після масштабування (нормування) фігури-тіні обчислюємо значення її центральних моментів. Ця трафарет-інформація про об'єкт X зберігається в пам'яті комп'ютера.

На рис. 10 ліворуч приведені зображення силуетів об'єкта X для різних напрямків спостереження. Рядом (праворуч) для порівняння приведені зображення об'єкта X в відповідних ракурсах.

Відмінні риси зображень (одне з них виконано за допомогою оператора відображення в аксонометрії, друге - одержано засобами 3D Studio в перспективі) не впливають на якість ідентифікації для розглянутого в роботі класу геометричних об'єктів.

Далі проводиться ідентифікація об'єкта X серед заданих чотирьох об'єктів, побудованих за допомогою 3D Studio. Для цього з обраного напрямку спостереження, за допомогою графічних засобів 3D Studio, одержуємо зображення кожного з об'єктів. Кожне з зображень нормується (тобто вноситься до кола одиничного радіуса), і для кожного з них обчислюються центральні моменти.

Чотири одержаних послідовності моментів по черзі порівнюються з відповідною "трафаретною" послідовністю моментів силуету об'єкта X . Мінімальна нев'язка порівняння вказує на те, що для даного ракурсу об'єкт X ідентифіковано. Виконавши те ж саме для інших напрямків спостереження, можна остаточно пересвідчитись в ідентифікації об'єкта X .

Одержані в роботі алгоритми ідентифікації тривимірних об'єктів потенційно можуть передувати відомим алгоритмам розпізнавання в різноманітних технологічних впровадженнях.

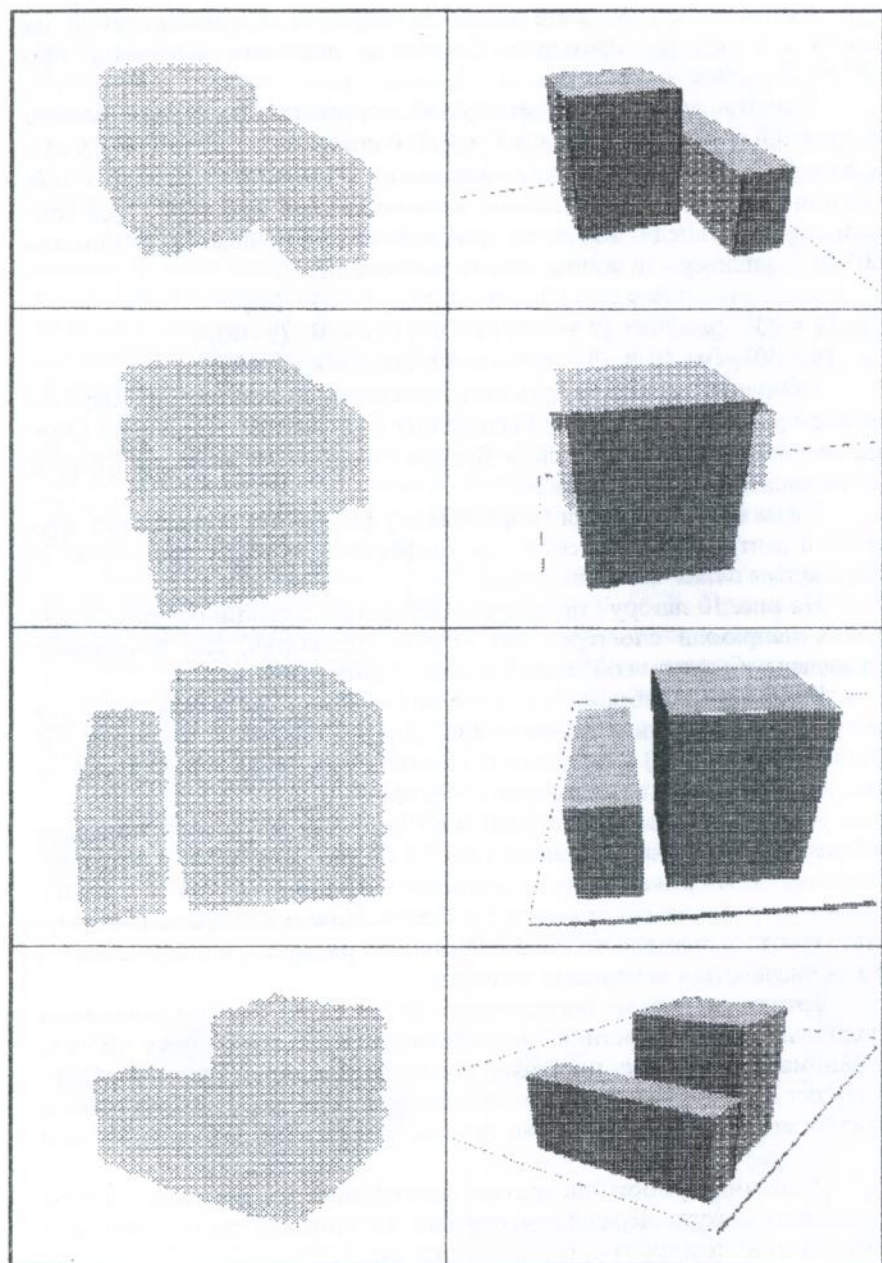


Рис.10

В **третьій главі** наведено приклади впровадження розглянутого методу ідентифікації геометричних об'єктів. Алгоритми застосовано для ідентифікації таких геометричних об'єктів:

а) *фігур на площині* - для забезпечення автоматичної іридодіагностики, та

б) *поверхонь обертання* - для автоматичного керування роботом - маніпулятором, який сортує деталі на стрічці конвейєра.

Наголошується, що дисертація присвячена *геометричним*, а не медико- чи робототехнічним питанням щодо конструкцій відповідного устаткування. В ній лише наводиться ефективність запропонованих алгоритмів ідентифікації в відповідних впровадженнях.

Задача 1. Вважається, що іридодіагностика є одним з перспективних розгалужень сучасної медицини. Вона являє собою метод виявлення придбаних та успадкованих захворювань людини, і базується на оцінці адаптаційно - трофічних змін райдужної оболонки ока. Іридодіагностика основана на тому, що геометрична форма деяких пігментних плям є інформативною. Аналіз форми плями (тобто фігури) проводиться відносно автономного кола (на рисунках це замкнена крива, що розташована між концентричними колами).

Постановка геометричної задачі: серед даних фігур на площині необхідно виявити фігуру з наперед позначеною формою.

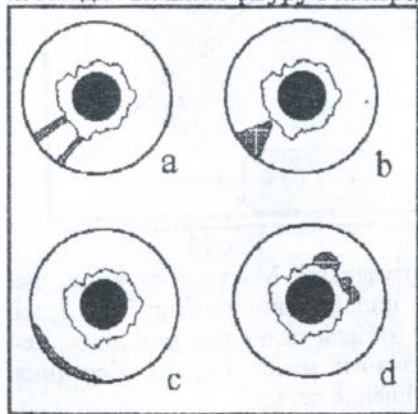


Рис.11

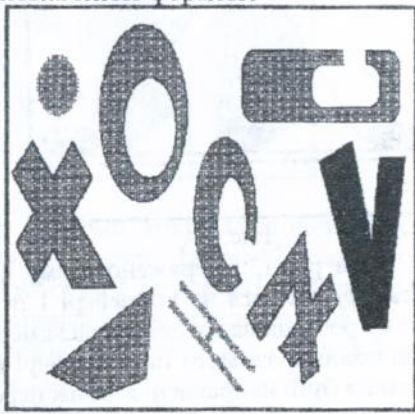


Рис.12

В роботі розглянуто такі конкретні діагностичні геометричні форми пігментів:

1) дві вузькі паралельні смужки, які починаються від виступів автономного кола; виявляються при церебральних судинних розладах: мігрєні, запамороченні, втраті свідомості (рис.11а);

2) в формі пінцету (або V-подібна); помітна при враженні хребців (рис.11б);

3) лімбічна циркульна смужка; спостерігається при погіршенні функції венозної та лімфатичної систем (рис.11с);

4) купоподібна форма з пігментами в основі зубчиків автономного кільця; вказує на ендокринні порушення (рис.11d).

Алгоритм перевірено на прикладі ідентифікації таких плям (фігур): двох паралельних смужок, "пінцетоподібної", "дугоподібної" та "купоподібної".

На рис. 12 наведено тестовий приклад ряду фігур, серед яких алгоритм виявив V-подібну.

Задача 2. Розглянуто алгоритм, що є складовою частиною алгоритму керування робота - маніпулятора, призначеного для сортування машинобудівних виробів, які переміщуються на стрічці конвейєра. Характерною ознакою операцій на конвейєрі є значна одноманітність рухів, що веде до психічної стомлюваності робітників. Тому деякі з операцій намагаються автоматизувати.

Постановка геометричної задачі: скласти для ЕОМ алгоритм, який би виявив заздалегідь позначену деталь з даної послідовності поверхонь обертання, що переміщуються на стрічці конвейєра.

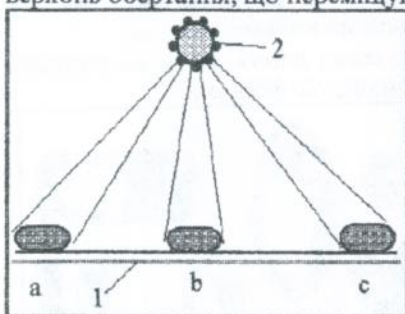


Рис.13

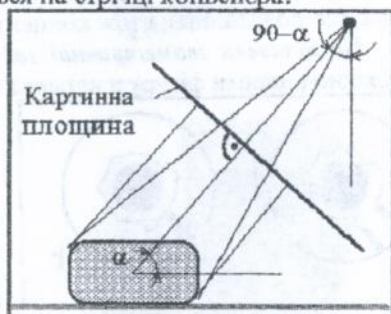


Рис.14

На рис.13 зображено схему ідентифікації. Мається на увазі, що деталі *рухаються* на конвейєрі 1 повз циліндричного барабану 2, на якому розташовано низку телекамер у вигляді пелюстків ромашки. Деталі повинні займати на конвейєрі визначені місця, а їх осі обертання повинні бути направлені вздовж переміщення деталі.

При здійсненні барабаном обертання навколо своєї осі, кожна з телекамер буде супроводжувати "поглядом" якусь з деталей даного ряду виробів, формуючи при цьому в пам'яті комп'ютера її зображення на картинній площині (рис. 14). Параметром вибору ракурсу зображення буде значення кута α .

В результаті цього в пам'яті комп'ютера буде занесено інформацію про геометричну форму певної кількості зображень конкретної деталі, в залежності від дискретних значень кута α .

Як приклад наведемо опис деталі X, яка зображена на рис. 15. Для цього в локальній системі прямокутних координат OXYZ за допомогою R- функцій складемо рівняння $F(X,Y,Z)=0$ поверхні об'єкта X. При цьому вісь OX спрямуємо вздовж осі поверхні обертання. Маємо

$$F(X,Y,Z) = (F1 \wedge F2) \vee (F3 \wedge F4) \vee (F5 \wedge F6) \vee (F7 \wedge F8) \vee (F5 \wedge F9),$$

$$\begin{aligned} \text{де } F1 &= 30^2 - Y^2 - Z^2; & F2 &= 110^2 - (X - 110)^2; \\ F3 &= 50^2 - Y^2 - Z^2; & F4 &= 20^2 - (X - 110)^2; \\ F5 &= 90^2 - Y^2 - Z^2; & F6 &= 5^2 - (X - 95)^2; \\ F7 &= 60^2 - Y^2 - Z^2; & F8 &= 20^2 - (X - 10)^2; \\ F9 &= 15^2 - (X - 205)^2; \end{aligned}$$

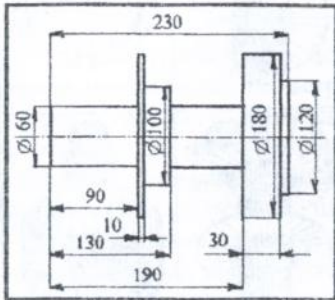


Рис.15

Використовуючи Твердження 3, одержимо опис проекції деталі X в залежності від кута α . На рис.16 показано зображення проекцій, побудованих на основі опису ператором відображення.

Отже, опис проекції деталі, яку необхідно ідентифікувати, кодується зазначеним способом і надсилається в пам'ять ЕОМ. Там на основі цієї інформації обчислюється ряд центральних моментів $\{m_x\}$, що характеризують форму зображення об'єкта X у ракурсі, відповідного α .

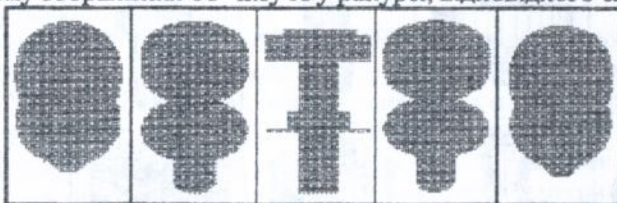


Рис.16

З кожної з телевізійних камер до комп'ютера надходить інформація про зображення однієї з реальних деталей. На рис.17 подано зображення, які надійдуть з телекамер стосовно 5 деталей. Ця інформація є основою для обчислення 5 рядів центральних моментів $\{m_i\}$ (де $i=1, \dots, 5$), що характеризують зображення кожного з 5 реальних об'єктів у ракурсах, відповідних α . Порівнюючи "подібні" елементи рядів $\{m_x\}$ та $\{m_i\}$ (де $i=1, \dots, 5$), знаходимо випадок, коли нев'язка мінімальна.

Для зазначеного прикладу алгоритм виявив, що розшукувана деталь має номер 4. У випадку позитивної ідентифікації далі подається команда маніпулятору на виконання певних дій.

Розроблені алгоритми впроваджені в Українському науково-дослідному інституті металів (м.Харків) при розробці алгоритмів керування роботами - маніпуляторами для сортування металовиробів на стрічці конвейера. Реалізація підтверджується довідкою про використання запропонованої в роботі методики.

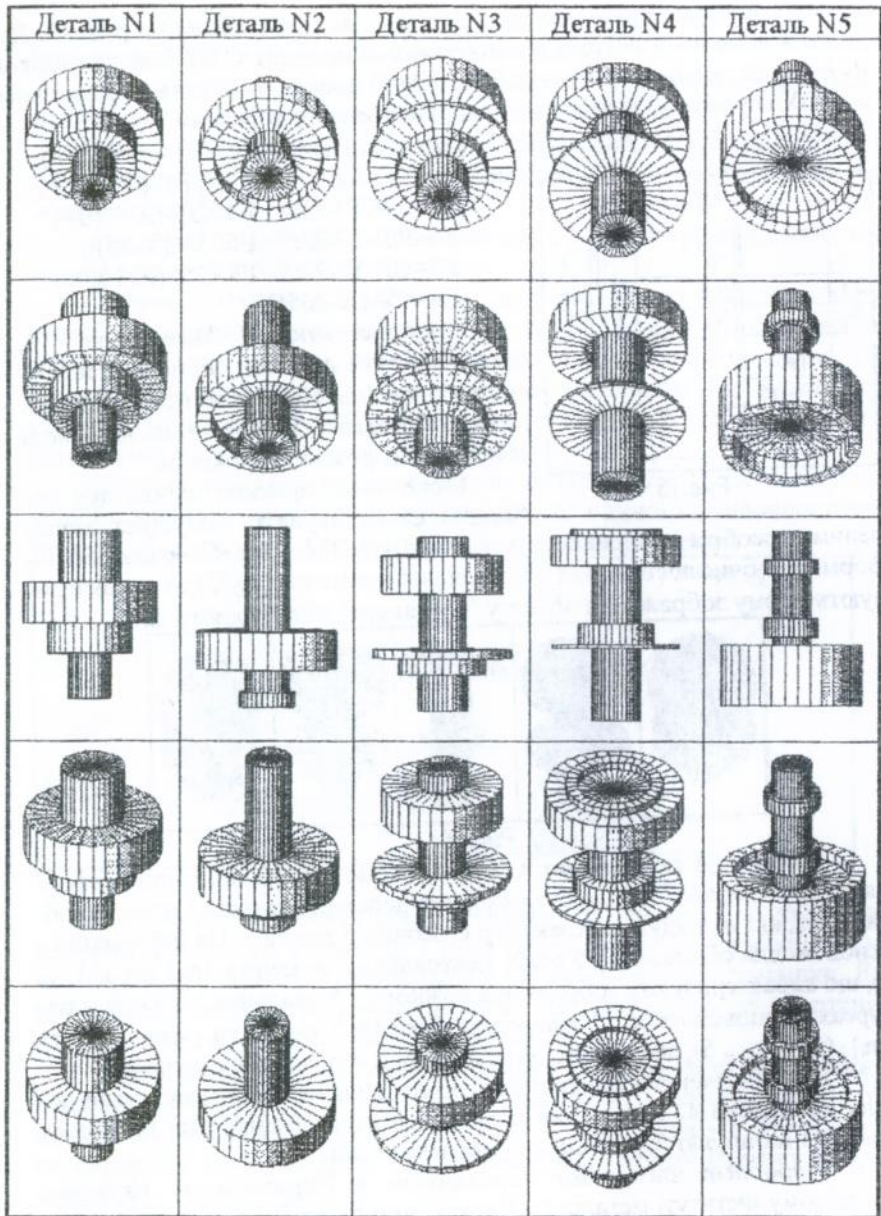


Рис. 17

ВИСНОВКИ

В роботі виконано дослідження у галузі створення нових алгоритмів ідентифікації геометричних об'єктів канонічних форм за допомогою обчислення центральних моментів їх зображень. Розроблено теоретичну та алгоритмічну базу для комп'ютерних програм ідентифікації геометричних об'єктів на площині та в просторі. При цьому одержано такі результати, що мають наукову та практичну цінність.

1. Знайдено оператор відображення для опису у вигляді нерівності області точок на площині загального положення, яка співпадає з ортогональним обрисом даного об'єкту, коли:

а) об'єкт нерухомий, картинна площина рухома,

б) об'єкт рухомий, картинна площина нерухома.

2. Запропоновано нове геометричне пояснення можливості співставлення геометричної форми фігури з ознаками у вигляді послідовності її центральних моментів;

3. Розроблено новий метод порівняння наперед позначеного об'єкта з об'єктами, які представлені кадрами растрових зображень;

4. Складено алгоритм обчислення значень центральних моментів фігури на площині, що співпадає з силуетом даного об'єкту.

5. Розроблено методику дослідження ознак у вигляді послідовності центральних моментів, що характеризують геометричну форму обрису тіні даного об'єкту;

6. Складено алгоритм обчислення ряду послідовностей центральних моментів для різних допустимих напрямів проєкціювання;

7. Розроблено метод виявлення наперед позначеного об'єкта серед кількох об'єктів, що представлені кадрами растрових зображень в залежності від напрямку їх спостереження;

8. Розв'язано ряд тестових прикладів ідентифікації.

9. Складено алгоритм ідентифікації реального геометричного об'єкта.

10. Результати роботи впроваджено в УкрНДІМеталів при розробці сучасних конвейєрних маніпуляторів - сортувальників виробів з металу.

Основні положення дисертації опубліковані у таких роботах:

1. *Сивак Е.М., Куценко Л.Н.* Идентификация геометрической формы объекта при помощи центральных моментов // Современные проблемы геометрического моделирования. Тезисы докладов международной научно - практической конференции, посвященной 200-летию начертательной геометрии. Мелитополь: ТГАА, 1995, с. 38-39

2. *Сивак Е.М., Бежан Т.А.* Идентификация геометрических объектов при помощи центральных моментов их изображений. В сб. R-функции в задачах математической физики и прикладной геометрии. Сб. научн. трудов, посвященных 70-летию В.Л.Рвачева. Харьков: ХГПУ, 1996, с.88-92

3. *Куценко Л.Н., Сивак Е.М.* Идентификация трехмерных объектов при помощи центральных моментов их изображений.- В сб. Прикладная геометрия и инженерная графика. Вып.59, Киев: КГТУСА, 1996, с.145-149

4. *Сивак Е.М.* Идентификация объектов при помощи центральных моментов. Сб. трудов межд. научно-технической конференции Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Часть 5. -Мишкольц, Магдебург, Харьков: ХГПУ, 1997, с. 207-209

5. *Сивак Е.М.* Идентификация трехмерных объектов // Современные проблемы геометрического моделирования. Сб. трудов III - Международной научно- практической конференции. Мелитополь:ТГАА, 1996. -ч.2. - с.128-129.

6. *Сивак Е.М.* Представление графической информации для алгоритмов идентификации // Нарисна геометрія та комп'ютерна графіка. Тези доповідей міжнародного наукового симпозиуму, присвяченого пам'яті Гаспара Монжа до 250-річчя від дня народження. Львів:Львівська політехніка, 1996, ;

Работа посвящена методу идентификации геометрических объектов путем вычисления центральных моментов их изображений. Предметом исследования является представление графической информации об объекте, который необходимо распознать среди данной последовательности пространственных объектов, для чего составлены алгоритмы.

В алгоритмах идентификации применяется метод центральных моментов. Этот метод позволяет при помощи набора чисел охарактеризовать очертание объекта, наблюдаемое в заданном направлении. Для описания очертания тени, отбрасываемой трехмерным объектом на картинную плоскость, был применен оператор отображения, составленный на основе R-функций.

Рассмотренный метод идентификации использовался при создании реальных алгоритмов для автоматического манипулятора - сортировщика изделий из металла на конвейере, а также для медицинской иридодиагностики.

Сівак Єлизавета Михайлівна. *Ідентифікація геометричних об'єктів канонічних форм за допомогою центральних моментів їх зображень.*

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 - Прикладна геометрія, комп'ютерна графіка, дизайн та ергономіка.

Київський державний технічний університет будівництва і архітектури. Україна, Київ, 1997.

Захищаються 6 наукових робіт, в яких викладено теоретичні положення щодо методу опису графічної інформації про об'єкт, який треба розпізнати. Теоретичні розробки застосовано для створення алгоритмічної бази для комп'ютерних програм ідентифікації просторових геометричних об'єктів.

Ключові слова: *ідентифікація, просторовий об'єкт, центральний момент, картинна площина.*

Sivak Elizaveta Mikhailovna. *Identification of geometric objects of canonic forms using central moments technique their images.*

The competition thesis for scientific degree of Candidate of Technical Sciences' in speciality 05.01.01 - Applied geometry, computer graphics, design and ergonomics.

The Kiyv State Technical University of Building and Architecture. Ukraine, Kiyv, 1997.

Six scientific works are presented. There are some theoretical positions graphical information description method of identification object in these works. The theoretical elaborations are used to create the algorithm base for computer programs of identification of space, geometrical objects.

The key words: *identification, the space object, the central moment, the picture plane.*

433939

Ав 38.493

Підписано до друку 15.08.97. Формат 21х30. Умов. др. а. 0,25.
Папір фінський. Гарнітура Times ET. Тираж 100 прим. Замовл. № 236.
Надруковано на ризографі ООО "Знання ЛТД".
310057, м.Харків, вул. Артема 32.