

УДК 519.85 УДК 531.7

МОЖЛИВІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ КОНТУРІВ ДЕТАЛІ ПРИ ОБРОБЦІ ЗОБРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ РОБОТО-ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

Борковський О.В., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

У статті розглянуто задачу обробки візуальної інформації при роботі з просторовими об'єктами, у тому числі при вимірюванні геометричних параметрів об'єктів. Розроблено алгоритм ідентифікації деталей

Вступ

Проблема аналізу зображення деталей в промисловості при контролі деталей, виробів представляє особливий інтерес. За допомогою сучасних систем технічного зору, сучасної системи реєстрації, розпізнавання та ідентифікації зображень можна контролювати у виробництві точність та відповідність геометричних розмірів деталей та дефекти деталей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

З аналітичного огляду інформаційних джерел, стають зрозумілими останні тенденції розвитку в даній галузі. А саме – найсучасніші прилади подібної та такої самої специфіки мають за основу лазерний сканер, інформація про сканування передається у комп'ютер. Обробка отриманої таким способом інформації проводиться апаратно-програмними методами [1-3]. Одиночне зображення невідомого об'єкту фіксується на деякому носії сприймаючого (чутливого) елементу розпізнаючого комплексу (фотокамера, відекамера). При вводі у ЕОМ це зображення об'єкту дискретизується, квантується за яскравістю та його елементи дискретизації кодуються.

Одночасно з метою ущільнення отриманої інформації, диференціювання за значимістю для подальшого аналізу її мінімізують електронним або алгоритмічним шляхом при ідентифікації використовується лише зовнішній контур зображення[2-4].

Паралельно проводиться аналіз зображення з метою виявлення на ньому окремих опорних елементів, необхідних для проведення нелінійних перетворень зовнішнього контуру зображення об'єкту.. Далі об'єкт ідентифікується та при цьому або відбувається класифікація невідомого об'єкту, або, якщо ПК не дає відповіді, надається запит нової реалізації об'єкту, знятої під іншим ракурсом.

З метою автоматизації завдань розпізнавання та обробки візуальної інформації, вже багато десятиліть ведуться розробки систем технічного зору, що знаходять своє застосування у робототехнічних комплексах (в тому числі координатно-вимірювальних машинах) різного призначення [3-7].

Постановка задачі

Провести вимірювання деталі за допомогою робототехнічного зору швидкісною відеокамерою.

Розв'язання поставленої задачі

В режимі реального часу проведемо вимірювання деталі з визначенням відхилення від форми та розташування поверхонь це дуже узагальнена схема роботи, що не враховує подробиці, пов'язані з налагодженням системи, принципом синхронізації, алгоритмом аналізу та інше. При необхідності перевірки візуальних характеристик предметів на виробничих лініях така система машинного зору може дати відмінні результати.

Розглянемо завдання кодування зображень, що складаються із плоских фігур. На рецепторному полі фігури представляють безліч приналежних їм крапок, що утворюють зв'язну область. Крапка b_i , що перебуває в цій області, називається граничною, якщо хоча б одна із чотирьох сусідніх крапок рецепторного поля зображенню фігури не належить. Кожна фігура задається множиною $B\{b_1, b_2, \dots, b_r\}$ граничних крапок, які у сукупності утворюють її контур. Від способу подання контуру фігур залежить компактність подання зображення та ефективність обробки. Контур апроксимується ламаною лінією або задається параметрично.

Фігура представляється у вигляді багатокутника, що задається безліччю вершин, які називаються вузлами апроксимації. Потрібно побудувати такий багатокутник, що містив би мінімальне число вершин і в той же час представляв фігуру із заданою точністю. Вимоги до точності апроксимації сформулюємо в такий спосіб: відстань від кожної крапки $b_i \in B$ до найближчої крапки перетинання відрізка апроксимуючої ламаної з деякою лінією растра, що проходить через b_i , не повинна перевищувати кроку рецепторної сітки. Для конкретності покладемо, що вузли апроксимації повинні вибиратися з множини граничних крапок.

Розглянемо застосування швидкісної відеокамери у системах технічного зору. Автономна система машинного зору на базі швидкісної відеокамери FastVideo з DSP-процесором працює в такий спосіб.

1. Відеосигнал деякого періодичного процесу реєструється матрицею відеокамери (наприклад швидкісна відеокамера FastVideo-250, FastVideo-500 або швидкісна камера FV-250DSP із вбудованим DSP-процесором BlackFin чи високошвидкісна камера FV-500DSP із вбудованим DSP-процесором TigerSharc).

2. З матриці дані попадають у контролер відеокамери (наприклад контролер на базі процесора TigerSharc).

3. З контролеру камери дані передаються в контролер DSP-процесору.

При побудові кожного відрізка ламаної доцільно дотримуватися наступних положень. Якщо відомо початкову крапку $b_i \in B$, то як кінець відрізка вибирається максимально віддалена від b_i крапка b_{i+k} , така, що відстань від кожної крапки контуру, розташованої між b_i та b_{i+k} , до відрізка $b_i b_{i+k}$ задовольняє

сформульованим вище вимогам по точності апроксимації. Для визначення такої максимально віддаленої точки b_{i+k} можна скористатися наступним алгоритмом.

Помістимо початок координат (x_0, y_0) у відому початкову точку b_i . Зв'яжемо з кожною крапкою $(x_j, y_j) \in B$ деякі обмеження на область, у якій може лежати черговий вузол апроксимації. Для цього проведемо з початку координат через сусідні з (x_j, y_j) точки растру чотири промені. Виберемо два w_j і W_j , так, щоби утворений ними кут мав максимальне значення. Очевидно, що черговий вузол апроксимації повинен належати області w_j , обмеженої цими променями.

Визначення кінцевої точки b_{i+k} здійснюється перебором крапок $b_{i+1}, b_{i+2}, \dots$ в напрямку обходу контуру. Нехай на черговому кроці перебору розглядається точка b_j , і, в результаті попередніх кроків алгоритму, визначена область Ω_{j-1} , якій повинен належати вузол апроксимації. Тоді при розгляді точки b_j , ця область коректується за наступним правилом: $\Omega_{j-1} = \Omega_{j-1} \cap w_j$. Якщо $b_j \in \Omega_{j-1}$, то мається на увазі, що $b_{i+k} = b_j$. В противному випадку значення b_{i+k} не міняється. На початку реалізації алгоритму покладається, що Ω_0 дорівнює всій площині.

Вважається, що відрізок побудований, якщо на черговому кроці алгоритму область Ω_j порожня. Побудова відрізка ламаної ілюструється рис. 1. Контурні точки помічені числами 0, 1, 2... (точка 0 — початкова). На рисунку зображені промені, що обмежують область Ω_j . Номер j променю w_j або W_j дорівнює номеру тієї вершини, що вносить відповідне обмеження на область Ω_j . Промені мають кілька міток, якщо обмеження на область Ω_j , внесені декількома точками співпадають. Область Ω_6 представляє бісектрису кута xOy , а область Ω_7 порожня.

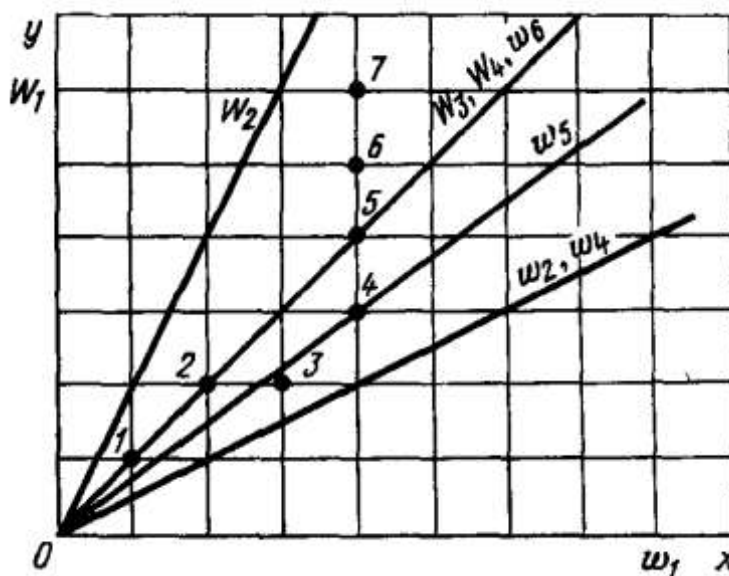


Рис.1. Побудова відрізка ламаної

Апроксимація контурів фігур заданими кривими

Перевагами володіє подання аналізованих фігур у вигляді деяких стандартних, добре вивчених у геометрії фігур, близьких до апроксимованих за формою та розмірами[6]. Таке подання відрізняється компактністю та дозволяє застосувати для обробки зображень апарат аналітичної геометрії. Розглянемо завдання апроксимації контурів фігур у наступній постановці. Нехай заданий дискретний замкнений контур $B=\{b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_r\}$ з координатами контурних крапок $b_i=(x_i, y_i)$ та множина стандартних фігур, кожна з яких визначається замкнутою кривою (ламаною), що описує її границю.

Множину кривих позначимо через Φ . Потрібно вибрати $\phi \in \Phi$, для якої сума квадратів відстаней до крапок контуру мінімальна. Алгоритм апроксимації будемо ілюструвати на прикладі множини Φ , що складається із прямокутника, еліпса, ромба та рівнобедреного трикутника, в якому кут між двома рівними сторонами не перевищує 60° .

Зафіксуємо деяке канонічне положення кривих щодо осей декартової системи координат. З цією метою побудуємо для кожної кривої вісь, що проходить через її центр ваги, щодо якої момент інерції кривої приймає мінімальне значення. Сумістимо вісь x із цією головною віссю ваги, а центр системи координат - із центром ваги. Канонічне положення кривих ілюструється рис. 2.

Для трикутника можливі два канонічних положення, що виходять один з другого поворотом трикутника на кут 180° .

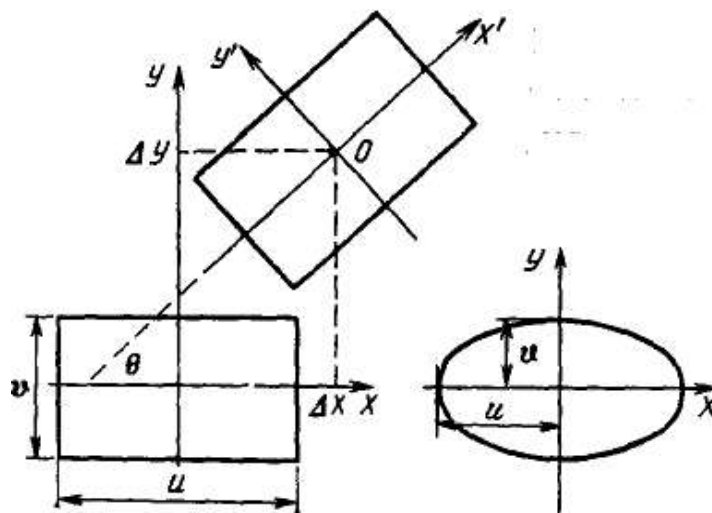


Рис. 2. Канонічне положення прямокутника, еліпса, ромба та трикутника відносно осей декартової системи координат

Зручно розрізняти ці два подання як дві різні фігури. Нехай у множину Φ входить одна з них, а саме та, котра зображена на рисунку. Очевидно, будь-яке розташування кривої в растрі може бути зведене до канонічного переносу центру системи координат по осі x та y на відстані Δx і Δy і повороту осей координат на кут θ . Прийmemo також, що в канонічній системі координат

апроксимуючі криві однозначно визначаються двома параметрами, які позначимо через u та v . Для кривих множини Φ ці параметри мають наступний сенс: у прямокутнику – це довжини сторін, в еліпсі – велика та мала півосі, у ромбі – довжини діагоналей, а трикутнику – основа та висота. Завдання побудови кожної кривої $\phi \in \Phi$, таким чином може бути зведена до відшукування компонентів вектору $G = (\Delta x, \Delta y, \theta, u, v)$.

В цілому алгоритм апроксимації розбивається на три етапи. На першому з них вирішується завдання суміщення контуру із кривими множини Φ . При цьому визначаються Δx , Δy та θ і перетворюється система координат, в якій визначені контурні крапки. Таке перетворення є загальним для суміщення з будь-якою кривою $\phi \in \Phi$. На другому етапі для кожної кривої знаходять її геометричні параметри u та v . Третій етап зводиться до вибору з множини побудованих на другому етапі кривих такої, сума квадратів відстаней якої від контурних крапок мінімальна. Результати реалізації кожного з етапів можуть становити самостійний інтерес. Наприклад, параметри u та v усіх побудованих на другому етапі алгоритму кривих можуть бути використані як ознаки в завданнях класифікації.

Головна вісь ваги дискретного контуру визначається як пряма, сума квадратів відстаней від якої до крапок контуру мінімальна. Координати x_0 та y_0 центру ваги обчислюють за формулами: $x_0 = \sum_{i=1}^r x_i / r$; $y_0 = \sum_{i=1}^r y_i / r$. Рівняння головної осі ваги представляється у вигляді: $(y - y_0) = k(x - x_0)$.

З умови мінімуму суми квадратів відстаней від крапок контуру визначається кутовий коефіцієнт k :

$$k = \frac{\sum_{i=1}^r [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]}{2 \sum_{i=1}^r (x_i - x_0)(y_i - y_0)} \pm \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^r [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]}{2 \sum_{i=1}^r (x_i - x_0)(y_i - y_0)} \right]^2 + 1}$$

Поміщаємо центр нової системи координат у крапку (x_0, y_0) та суміщаємо вісь абсцис із головною віссю ваги. Координати крапок контуру x'_i і y'_i у новій системі координат обчислюють за формулами:

$$x'_i = [k(x_i - x_0) - (y_i - y_0)] / \sqrt{1 + k^2}; \quad y'_i = [(x_i - x_0) - k(y_i - y_0)] / \sqrt{1 + k^2}.$$

Для визначення параметрів u та v застосуємо штучний прийом, що зводиться до розбивки множини контурних крапок і кривих ϕ на частини.

Покладемо, що вихідний контур розпадається, як показано на Рис. 3, на дві пари замкнених контурів, утворених відповідно крапками контуру, що лежать у верхній, нижній, лівій та правій напівплощинах, а також крапками перетину осей координат з лініями координатної сітки. Всі перетворення роблять у новій системі координат. Позначимо через δx середню відстань від осі y у центрів ваги двох контурів, розташованих у лівій та правій напівплощинах. Аналогічно через δy позначимо такі відстані від осі x для контурів, розташованих у верхній і

нижній напівплощинах. Величини δx і δy можуть бути визначені із співвідношень:

$$\delta x = \sum_{i=1}^r \frac{|x'_i|}{r + 2(y_B - y_H) - 2}; \quad \delta y = \sum_{i=1}^r \frac{|x'_i|}{r + 2(x_H - x_L) - 2}.$$

де x_H, x_L, y_B, y_H — відповідні координати крапок перетинання контуру з осями координат. Параметри u та v можуть бути визначені, виходячи зі значень δx та δy для кожної із кривих, що належать множині ϕ . Так в апроксимуючому прямокутнику величини δx та δy , знайдені тим самим способом, що і для вихідного контуру, визначаються співвідношеннями:

$$\delta x = u_{\Pi}/4; \quad \delta y = v_{\Pi}/4,$$

де u_{Π} та v_{Π} - довжини сторін прямокутника. Звідси $u_{\Pi} = 4\delta x; v_{\Pi} = 4\delta y$.

Співвідношення, що визначають розміри великої u_E та малої v_E півосей еліпсу визначаються: $u_E = \frac{3}{4}\pi\delta x; v_E = \frac{3}{4}\pi\delta y$.

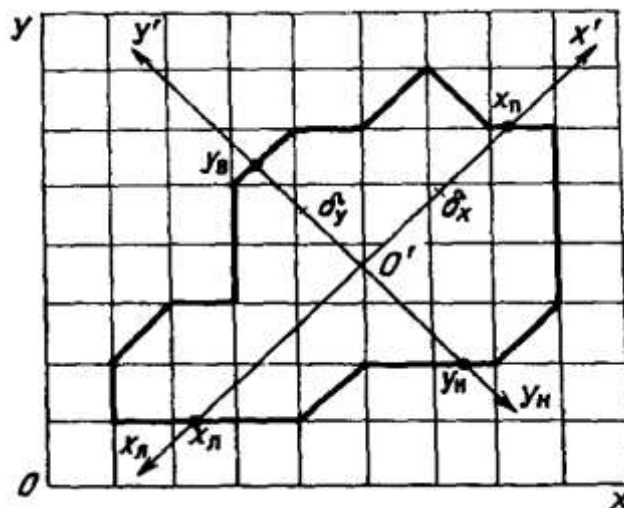


Рис. 3. Визначення параметрів апроксимуючих кривих

Аналогічно обчислюються діагоналі u_P та v_P ромбу, а також основа u_T та висота v_T трикутника:

$$u_P = 6\delta x; \quad v_P = 6\delta y, \quad u_T = 6\delta y, \quad v_T = (17/81)^{-1} \delta x \approx 4.76\delta x.$$

На третьому етапі алгоритму кожній кривій $\phi \in \Phi$ співставляється оцінка D_{ϕ} , що обчислюється за формулою: $D_{\phi} = \sum_{i=1}^r d_{\phi}^2(x'_i, y'_i)$, де $d_{\phi}(x'_i, y'_i)$ - відстань від крапки контуру (x'_i, y'_i) до кривої ϕ . З множини кривих в якості апроксимуючої вибирають криву з мінімальним значенням оцінки. Позначимо через d_{Π} , d_E , d_P та d_T відстань у перетвореній системі координат від деякої крапки (x, y) до прямокутника, еліпса, ромба та трикутника відповідно. Значення d_{Π} , d_P та d_T обчислюють за формулами:

$$d_{II} = \min \left\{ \left| x + \frac{u_{II}}{2} \right|, \left| x - \frac{u_{II}}{2} \right|, \left| y + \frac{v_{II}}{2} \right|, \left| y - \frac{v_{II}}{2} \right| \right\}; d_p = \min \left\{ \left| \frac{2v_p x + 2u_p y - u_p v_p}{l_p} \right|, \left| \frac{-2v_p x + 2u_p y - u_p v_p}{l_p} \right|, \left| \frac{2u_p x - 2v_p y - u_p v_p}{l_p} \right|, \left| \frac{-2u_p x - 2v_p y - u_p v_p}{l_p} \right| \right\}; l_p = 2\sqrt{u_p^2 + v_p^2};$$

$$d_T = \min \left\{ \left| x + \frac{v_T}{3} \right|, \left| \frac{\frac{u_T x}{2v_T} + y - \frac{v_T}{3}}{l_T} \right|, \left| \frac{-\frac{u_T x}{2v_T} + y + \frac{v_T}{3}}{l_T} \right| \right\}; l_T = \sqrt{\frac{u_T^2}{4v_T^2} + 1}.$$

Обчислення точних значень параметру d_E для еліпса пов'язано із значними аналітичними труднощами. Тому d_E визначають приблизно, як половину модуля різниці між сумою відстаней від 1-ї точки контуру до фокусів еліпса та константою еліпса $2u_E$:

$$d_E = \frac{1}{2} \left| \sqrt{(y_i')^2 + (x_i' - l_E)^2} + \sqrt{(y_i')^2 + (x_i' + l_E)^2} - 2u_E \right|,$$

де l_E – половина фокусної відстані еліпса.

На рис. 4. представлені приклади виконання програми для двох варіантів вихідного контуру. В якості апроксимуючої кривої обраний: *a* – еліпс; *б* – прямокутник.

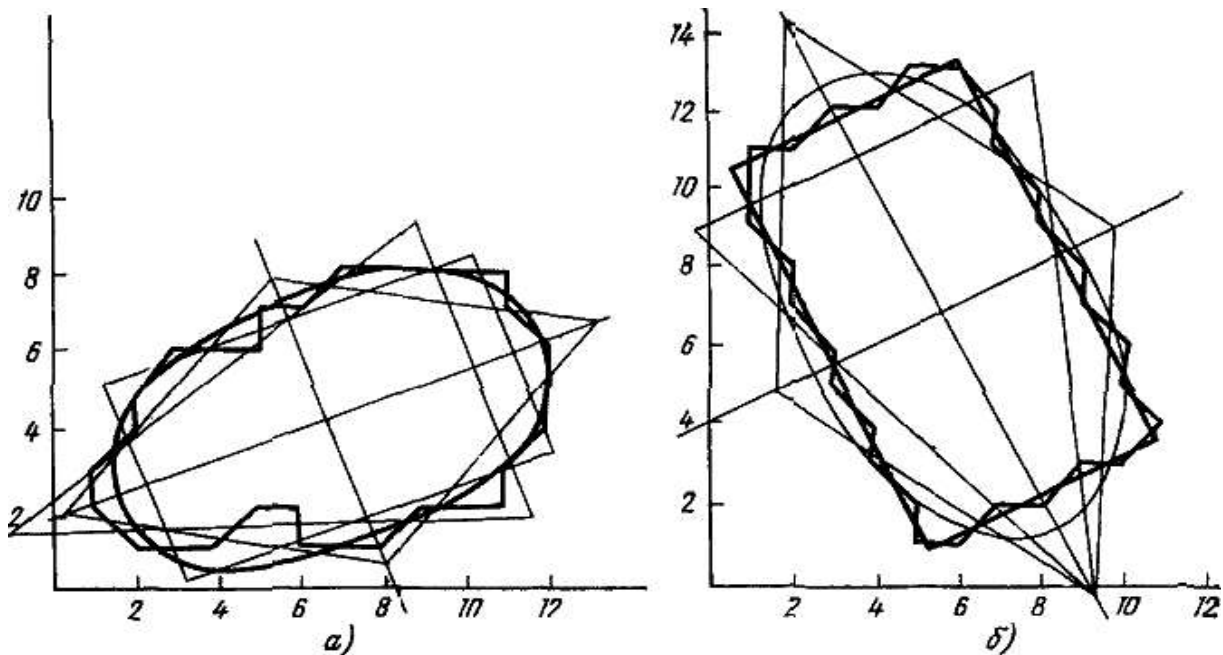


Рис. 4. Приклад параметричної апроксимації контуру фігур

Висновки

Запропонований алгоритм може бути застосований для опису контурів зображень широкого класу об'єктів. На перших двох етапах алгоритму як міра близькості крапок контуру та апроксимуючої кривої використовується не сума

квадратів відповідних відстаней, а співпадіння деяких характерних ліній і крапок. Показано що, при проектуванні основних вузлів систем технічного зору в якості елементу реєстрації може бути використана швидкісна відеокамера.

У подальшому необхідно вирішення задачі оптимізації точності вимірювання за допомогою робото-технічної системи.

Література

- 1.Идентификация визуальных объектов с использованием знаний/ Д.А. Денисов, А.К. Дудкин// Системы технического зрения. – М. Наука, 1991. – 200с.
- 2.Ерганжиев Н.А. Цветное телевидение в измерительной технике. – М.: Связь, 1980. – 104 с.
- 3.Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
- 4.Горелик С.Л., Кац Б.М., Киврин В.И. Телевизионные измерительные системы. – М.: Связь, 1980. – 168 с.
- 5.Гринберг А.Д., Гринберг С. Цифровые изображения: Практическое руководство: Пер. с англ. – Минск: Попурри, 1997. – 400 с.
- 6.Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений М.:изд-во Техносфера, 2006.-1701 с.
- 7.Гуленко И.Е. Система видеозахвата и анализа движения – распознавание трансформаций и движения объекта. – Труды конференции “Новые информационные технологии” (Судак, Крым, 15–25 мая 2004 г.), с. 141-142

Борковский А.В. Возможность определения контуров деталей при обработке изображений с использованием систем робото-технического зрения

В статье рассмотрена задача обработки визуальной информации при работе с пространственными объектами, в том числе при измерении геометрических параметров объектов. Разработан алгоритм идентификации деталей.

Borkovskiy A.V.The possibilities of the determination of the detail's contour by it treatment with using of robotics vision systems.

In work state the processing of visual information at working with the dimensional objects, including at the measurement of geometrical parameters of objects is offered. The algorithm of identification of details are created.

*Надійшла до редакції
3 березня 2009 року*

МЕТОД ВИПАДКОВОГО ПОШУКУ ОПТИМУМУ ФУНКЦІЇ ЗІ ЗМІННИМ РАДІУСОМ ПОШУКУ

Левандовська І.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

В статті наведено спосіб знаходження оптимального значення функції за допомогою методу випадкового пошуку зі змінним радіусом пошуку та випадковим напрямком. Показано переваги запропонованого оптимізаційного алгоритму визначення екстремальних значень функцій та приклад його застосування

Вступ

Процес оптимізації лежить в основі усієї інженерної діяльності, оскільки