**Геометричні параметри об’єктів, що можуть бути визначені за їх відеозображеннями**

Поверхня об’єкта вимірювань (ОВ) може бути охарактеризована двовимірною функцією , де  і  – просторові координати в площині цієї поверхні, а значення функції  для кожної пари координат  є мірою яскравості поверхні ОВ в точці з цими координатами. Використання двох просторових координат обумовлено тим, що для вимірювань у вимірювальній системі формується цифрове відеозображення, яке представляє собою двовимірну проекцію початкового тривимірного ОВ. Для прикладу вимірювань геометричних параметрів (ГП) виробів з природного каменю слід відзначити, що більшість з них має плоску лицьову поверхню. Це прямокутні блоки, видобути з родовища природного каменю, плити і облицювальні вироби, виготовлені з цих блоків, оброблені зразки природного каменю з родовищ. Тому будемо вважати ОВ плоскою геометричною фігурою, що розташована в площині відеозображення.

Поверхня виробу розташована в полі зору оптичної системи пристрою формування відеозображень (ПФВЗ) і проектується цією системою в площину початкового відеозображення , де  і  – просторові координати в площині початкового відеозображення. Ця площина співпадає з світлочутливою поверхнею перетворювача «світло-сигнал» в складі ПФВЗ.

При формування відеозображень виникають геометричні похибки [66, 75], обумовлені: дисторсією оптичної системи; неперпендикулярністю плоскої поверхні ОВ і оптичної осі ПФВЗ; відмінностями форми поверхні ОВ від площини. В результаті на поверхні перетворювача «світло-сигнал» отримуємо відеозображення  з геометричними похибками. Також слід враховувати наявність динамічних похибок відеозображень в оптичній системі, що характеризується функцією розсіювання точки, в перетворювачі «світло-сигнал» і електронних схемах, що характеризуються інерційними властивостями при швидких змінах амплітуди відеосигналу в зоні контурів ОВ. Окрім того, всі ці блоки ПФВЗ додають випадкові похибки  до відеозображення. В результаті отримуємо відеозображення , що місить геометричні та динамічні похибки, та відеозображення на виході ПФВЗ  з випадковими похибками.

Перетворювачі «світло-сигнал» сучасних ПФВЗ (цифрових відеокамер і фотоапаратів) представляють собою матрицю світлочутливих елементів. Така матриця разом з аналого-цифровим перетворювачем відеосигналу (в складі ПФВЗ) формує цифрове відеозображення , яке є двовимірним масивом (матрицею) відліків яскравості, значення яких квантовані за амплітудою. В даному випадку:  – порядкові номери (індекси) дискретних відліків амплітуди відеосигналу в рядках і стовпцях цифрового відеозображення ОВ, , ;  – кількість дискретних відліків амплітуди відеосигналу в рядках та стовбцях цифрового відеозображення виробу, що визначає розміри цифрового відеозображення в дискретних точках (д.т.). Цифрове відеозображення  є представленням у цифровій формі відеозображення  на виході ПФВЗ.

Цифрове відеозображення  з виходу ПФВЗ передається в цифрову ЕОМ. Для ахроматичної поверхні ОВ достатньо одного напівтонового цифрового відеозображення , що характеризує яскравість точок цієї поверхні. Для хроматичної поверхні ОВ формується кольорове цифрове відеозображення, що містить 3 канали (3 цифрових монохромних відеозображення) і характеризує яскравість і колір поверхні ОВ за певною колориметричною системою. Найпоширенішою є колориметрична система  (,  і  – відповідно червоний, зелений і синій кольори, а яскравість  [79, 80]. Всі положення і методи комп’ютеризованої обробки відеозображень застосовуються як до напівтонового цифрового відеозображення , так і до кожного з каналів кольорового цифрового відеозображення.

В цифровій ЕОМ виконується алгоритмічна компенсація похибок на цифровому відеозображенні . В результаті послідовно отримуємо цифрові відеозображення ,  і , що є обчисленими у цифровій формі оцінками відеозображень ,  і . З урахуванням коефіцієнта збільшення оптичної системи ПФВЗ цифрове відеозображення  також є обчисленою оцінкою двовимірної функції , що характеризує поверхню ОВ.

Елементи (точки) цифрового відеозображення  з індексами  характеризують яскравість точок початкового відеозображення  з координатами [73, 75] , , де  і  – відстань по горизонталі і вертикалі між центрами сусідніх світлочутливих елементів перетворювача «світло-сигнал».

Якщо відомий коефіцієнт збільшення оптичної системи  [75], то

, ,

де  і  – крок дискретності просторових координат  і  в площині поверхні ОВ, що відповідає відстані в 1 д.т. на цифровому відеозображенні .

Для вимірювань ГП у вимірювальній системі використовується цифрове відеозображення . Перед вимірюваннями ГП на цьому відеозображенні виділяють область , що належить ОВ. Можливі два методи пошуку і виділення ОВ [71, 73, 74, 79, 80], які здійснюються:

– шляхом розподілу відеозображення на ОВ і фон;

– шляхом виділення контурів ОВ з подальшою побудовою областей, що належать цьому об’єкту.

Основою першого методу є алгоритмічна процедура сегментації відеозображень [79], тобто їх розподіл на області з подібними властивостями. Найчастіше сегментацію проводять на основі значень яскравості або кольору дискретних точок цифрового відеозображення. Для визначення належності дискретних точок цифрового відеозображення ОВ і фону доцільно порівнювати яскравість або колір цих точок з пороговими значеннями. Порогове значення повинно забезпечити точне визначення ГП ОВ і дорівнює середині висоти перепаду яскравості, що утворює контур ОВ. Другий метод [79, 80] більш складний, має меншу швидкодію і призначений для обробки цифрових відеозображень, які мають низьку якість.

Тому у вимірювальній системі пошук ОВ доцільно виконувати шляхом розподілу цифрового відеозображення на області ОВ і фону. При цьому потрібно враховувати те, що цифрові відеозображення  є кольоровими растровими графічними зображеннями. Тому для сегментації використовуються значення кольору, що характеризують ОВ та фон. Адаптацію цього методу до впливу несприятливих та нестаціонарних факторів можна реалізувати на основі штучних нейрон­них мереж. Для виробів, що мають ахроматичну поверхню, можливе перетворення кольорового відеозображення у напівтонове відеозображення [71, 80] з подальшою сегментацією на основі значень яскравості.

Цифрове відеозображення після виділення ОВ має вигляд [68, 75]:

 (1.1)

Основою процесу вимірювання ГП є рівняння вимірювань та рівняння похибок [81]. Для координат точок на поверхні ОВ маємо такі рівняння вимірювань:

|  |  |
| --- | --- |
| , , , , | (1.2) |

де ,  – індекси (порядкові номери в рядку та стовпцю) дискретного відліку двовимірного цифрового відеозображення, що відповідає вимірюваній точці об’єкту;  – відстань по горизонталі та по вертикалі між двома сусідніми дискретними відліками у площині цифрового відеозображення; ,  – масштабні коефіцієнти для перерахунку значень координат у дискретних точках (д.т.) відеозображення у значення у міліметрах, ці коефіцієнти визначаються шляхом аналітичного розрахунку або експериментальних досліджень відеозображення тестового ОВ з відомими геометричними розмірами.

В рівняннях (1.2) враховано той факт, що цифрові відеозображення ОВ є матрицею, елементи якої характеризують яскравість і колір відповідних точок ОВ. При обробці відеозображень безпосередньо визначаються координати точок як індекси відповідних елементів матриці. Такий підхід є загальноприйнятим в цифровій обробці відеозображень [75, 78 – 80]. Цим і обумовлено використання в проміжних розрахунках координат та відстаней одиниці в 1 д.т. Але підсумкові результати вимірювань ГП об’єктів приводяться в одиницях системи СІ, тобто в метрах або міліметрах.

Рівняння похибок вимірювання координат точок ОВ мають вигляд:

|  |  |
| --- | --- |
| , , |  |

де ,  – загальні похибки результатів ,  вимірювання координат; ,  – похибки знаходження чисельних значень координат (в том числі: випадкові, динамічні та геометричні похибки відеозображень, що виникли в ПФВЗ; похибки, обумовлені дискретних характером цифрових відеозображень та їх перетворенням і кодуванням при введенні в цифрову ЕОМ);

,  – похибки відтворення одиниці вимірювань , обумовлені похибками виготовлення матричного перетворювача «світло-сигнал» в ПФВЗ.

Вказані похибки вимірювання координат точок ОВ детально розглянуто у підрозділах 1.3, 3.2 – 3.4. Всі інші ГП ОВ визначаються шляхом чисельного розрахунку в цифровій ЕОМ на основі виміряних значень координат точок ОВ. Для таких розрахунків найсуттєвішою є трансформована похибка, обумовлена наявними похибками у початкових даних для розрахунків (координатах точок ОВ)..

Компенсація похибок визначення ГП ОВ у вимірювальній системі здійснюється шляхом комп’ютеризованої обробки відеозображень та результатів вимірювання ГП в цифровій ЕОМ. Для позначення такої процедури в подальшому використано вираз «алгоритмічна компенсація похибок».

На цифровому відеозображенні  згідно рівнянь вимірювань (1.2) безпосередньо можуть бути виміряні координати точок з номерами , що належать ОВ (,  – загальна кількість точок, що належать ОВ). Серед всіх точок ОВ виділяють точки, що належать його контуру та структурним елементам його поверхні.

Номери точок  на цифровому відеозображенні перераховуються згідно рівнянь вимірювань (1.2) в координати відповідних точок  на поверхні ОВ з врахуванням того, що , . Координати  згідно рівнянь вимірювань можуть бути виражені в одиницях довжині (д.т.) цифрового відеозображення або у одиницях довжини (метрах або міліметрах) поверхні виробу. Кроки дискретності  і  та масштабні коефіцієнти  і  визначаються шляхом аналітичного розрахунку на основі значень ,  і . Для існуючих ПФВЗ, що використовуються у вимірювальній системі, ці значення можуть бути невідомі. В цьому випадку величини , ,  і  визначаються на основі дослідження цифрового відеозображення тестового ОВ, що має відомі лінійні розміри, заздалегідь визначені з високою точністю. Всі інші ГП ОВ визначаються вимірювальною системою на основі алгоритмічної обробки координат  або .

Розглянемо ГП ОВ, що можуть бути визначені для кожного відеозображення шляхом алгоритмічної обробки результатів вимірювань координат точок. ОВ будемо вважати плоскою геометричною фігурою, що розміщена в площині відеозображення. ГП ОВ можна розділити на п’ять груп: координати характерних контурних точок об’єкта, лінійні розміри та периметр об’єкта, різні варіанти визначення площі об’єкта, морфометричні ознаки об’єкта, коефіцієнти геометричної форми об’єкта [79, 80, 84, 85, 98].

До координат характерних контурних точок ОВ відносяться:

– перелік всіх контурних точок з визначеними координатами;

– екстремальні координати об’єкта (координати самої верхньої, нижньої, лівої та правої точок об’єкта);

– координати вершин опуклого багатокутника, в який вписано об’єкт;

– координати характерних точок геометричної фігури (наприклад, прямокутника або еліпса), що використовується для апроксимації об’єкта.

До лінійних розмірів ОВ відносяться його ширина  та висота , що відповідають ширині та висоті прямокутника, в який вписано цей об’єкт. Відстань між двома точками ОВ з координатами  і  дорівнює [79]: . Величини ,  і  для цифрового відеозображення можуть бути обраховані у д.т. або у метрах.

Площа ОВ може бути визначена за такими варіантами:

– площа об’єкта  (область, яку займає цей об’єкт на відеозображенні);

– повна площа об’єкта, що дорівнює його площі із заповненими отворами;

– опукла площа об’єкта , що дорівнює площі опуклого багатокутника, в який вписано цей об’єкт.

Площа ОВ для цифрового відеозображення може бути виражена відповідною кількістю точок цифрового відеозображення, що належать ОВ, або обрахована у одиницях площі (м2).

До морфометричних ознак ОВ, як плоскої фігури в площині відеозображення, відносяться такі ГП:

– центр мас об’єкта;

– еквівалентний діаметр, що відповідає діаметру кола з площею, яка дорівнює площі об’єкта ;

– довжина максимальної осі інерції об’єкта як плоскої фігури;

– довжина мінімальної осі інерції об’єкта як плоскої фігури;

– кутове положення об’єкта, що визначається кутом між горизонтальною віссю координат і максимальною віссю інерції цього об’єкта.

До коефіцієнтів геометричної форми ОВ, як плоскої фігури в площині відеозображення, відносяться:

– коефіцієнт опуклості: ;

– коефіцієнт заповнення: ;

– ексцентриситет, що визначається для еліпса, який має головні моменти інерції такі ж, як у об’єкта.

Узагальненим варіантом ГП ОВ є його моменти [84]. Початкові моменти ОВ порядку  дорівнюють:

.

Центральні моменти порядку  визначаються формулою:

,

де  – координати центра мас ОВ.

Координати центра мас ОВ дорівнюють [84]:

, .

Для відеозображення (1.1)



Важливими характеристиками ОВ, як плоскої фігури, є його головні моменти інерції  і , довжина максимальної і мінімальної осей інерції  і  та ексцентриситет . Головні моменти інерції визначаються відносно максимальної і мінімальної осей інерції ОВ [84, 98]:

,

де  – моменти інерції ОВ відносно координатних осей  і , , , .

Для відеозображення (1.1)

, де ,

, де ,

.

Довжина максимальної і мінімальної осей інерції ОВ, як плоскої фігури, визначається співвідношеннями [98, 99]:

, ,

де .

Ексцентриситет визначається на основі апроксимації ОВ еліпсом, що має моменти та осі інерції, як у ОВ [84, 98]:

,

де  – половина міжфокусної відстані еліпса,  і  – його півосі.

На основі моментів інерції ОВ також може бути визначено його кутове положення відносно центра мас [98, 99]. Це кутове положення визначається як кут між віссю  і максимальною віссю інерції:

 (1.3)

Інший варіант визначення кутового положення ОВ наведено в [84]:

,  (1.4)

Найпростіший варіант визначення кутового положення ОВ – на основі виміряних координат двох опорних точок цього об’єкта за формулою [84, 85]:

. (1.5)

Визначені таким чином ГП є початковими даними для розрахунку параметрів руху та інших фізичних величин, що характеризують ОВ.